



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CÁDIZ.

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL.

**Estudio de Reducción del Consumo de Agua
desmineralizada de una Central Térmica de Ciclo
Combinado Aplicando la Estrategia Six Sigma.**

Carlos Jesús Vila González.

Cádiz, Junio 2012

Carlos Jesús Vila González.



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CÁDIZ.

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL.

**Estudio de Reducción del Consumo de Agua
desmineralizada de una Central Térmica de Ciclo
Combinado Aplicando la Estrategia Six Sigma.**

DEPARTAMENTO de: ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS

DIRECTOR DEL PROYECTO: Sr. Don Ángel Cervera Paz

AUTOR DEL PROYECTO: Sr. D. Carlos Jesús Vila González.

Cádiz, Junio 2012

Carlos Jesús Vila González.



INDICE GENERAL

Estudio de Reducción del Consumo de Agua desmineralizada de una Central Térmica de Ciclo Combinado Aplicando la Estrategia Six Sigma.

INDICE GENERAL

• Documento nº 1. Índice General.	2
• Documento nº 2. Memoria.	4
Anejo nº1. Introduccion a la metodología seis sigma.	35
Anejo nº2. Metodología DMAIC aplicada al proyecto.	126
Anejo nº3. Análisis de la Viabilidad Económica.	182
• Documento nº 3. Planos.	202
• Documento nº 4. Pliego de Condiciones.	206
• Documento nº 5. Presupuesto.	219

MEMORIA

Estudio de Reducción del Consumo de Agua desmineralizada de una Central Térmica de Ciclo Combinado Aplicando la Estrategia Six Sigma.

INDICE.....MEMORIA

0. Hoja de Identificación.	7
1. Objeto.	8
2. Alcance.	9
3. Antecedentes.	10
3.1. Introducción.	12
3.2. Funcionamiento de una caldera de recuperación de calor.	13
3.3. Proceso térmico del ciclo de agua –vapor.	17
3.4. Línea de condensado.	20
3.5. Drenajes del ciclo de agua-vapor.	21
3.6. Acondicionamiento químico.	22
4. Normas y referencias.	22
4.1. Bibliografía/Referencias.	22
4.2. Programas de Cálculo.	23
5. Definiciones y Abreviaturas.	23
6. Requisitos de diseño.	25
6.1. Descripción de la instalación y equipos técnicos.	25
6.2. Régimen de explotación previsto y real.	28
6.3. Filosofía seis sigma.	29
6.4. Evaluación de resultados.	29
7. Análisis de soluciones.	29
7.1. Metodología del Análisis.	29
7.2. Beneficios del Seis Sigma.	30

8. Resultados Finales.	31
9. Planificación.	33
9.1. Planificación proyecto.	33
10. Orden de prioridades entre los documentos básicos del proyecto.	34

Índice de Figuras.

Figura 1. Esquema general Central Térmica de Ciclo Combinado.	10
Figura 2. Sección Caldera tipo Vertical.	12
Figura 3. Caldera de recuperación de calor.	13
Figura 4. Esquema del sistema de recuperación de calor.	15
Figura 5. Esquema del Caldera recuperación de calor.	21

0.- Hoja de identificación.

El presente proyecto “Estudio de Reducción del Consumo de Agua desmineralizada de una Central Térmica de Ciclo Combinado Aplicando la Estrategia Six Sigma.” está definido dentro del emplazamiento de la Central Térmica de Ciclo Combinado San Roque, sito en la ciudad de San Roque (Cádiz), dirección Polígono Industrial Guadarranque.

Tal proyecto corresponde al proyecto fin de carrera de la titulación Ingeniería en Organización Industrial en la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Cádiz.

Carlos Jesús Vila González con DNI: 52922086Y y número de contacto 639327036 declara haber realizado el presente proyecto “Estudio de Reducción del Consumo de Agua desmineralizada de una Central Térmica de Ciclo Combinado Aplicando la Estrategia Six Sigma”.

A 25 de Mayo de 2012

Carlos Jesús Vila González

1. Objeto.

Este proyecto fin de carrera surge de la necesidad de reducir el consumo de agua desmineralizada de caldera en una central de ciclo combinado. La fabricación y aportación al ciclo de agua desmineralizada, así como su adecuación química al proceso, hace que sea un elemento que interviene de forma importante en los costes de producción del proceso, por lo que se hace indispensable reducir su consumo.

La central térmica de ciclo combinado que nos ocupa consta de un solo tren de potencia, formado por turbina de gas, generador y turbina de vapor, todo en un solo eje, con una caldera de recuperación de calor (HRSG). El agua desmineralizada es usada para generar vapor a través de la tecnología del ciclo combinado. Se dota a la central de un sistema de aporte de agua desmineralizada para reponer las pérdidas en el sistema de agua-vapor, debido a la evaporación, drenajes durante las paradas u arranques de planta, y los drenajes continuos en operación normal, para la adaptación química del agua al proceso. El agua desmineralizada es inyectada al sistema a través del condensador a prácticamente temperatura ambiente y llevada en la caldera recuperadora de calor hasta unos 560°C. Un medidor de flujo se ocupa de medir la cantidad de agua que se aporta al ciclo.

En la actualidad el consumo de agua desmineralizada es de 2% del MCR (Maximus continuos rating), que comparándolo con centrales de similares características son de 0.5-0.7%MCR.

Así se ha resuelto el uso de la metodología seis sigma en su formato DMAIC, para realizar un estudio de reducción del consumo de agua.

Seis Sigma es una metodología rigurosa que utiliza análisis estadístico para medir y mejorar la fabricación y los procesos relacionados al servicio a través de cinco pasos procesales: definir, medir, analizar, mejorar, y controlar (DMAIC por sus siglas en inglés). El objetivo es de aumentar la capacidad de ganancia mejorando el desempeño y reducir la variabilidad.

2. Alcance

La instalación objeto de estudio presenta un funcionamiento muy distinto al presupuestado durante su proyecto, de esta forma tanto a nivel técnico como económico las previsiones no se están cumpliendo de una forma importante. A nivel técnico los equipos principales diseñados para un funcionamiento continuo son arrancados de forma frecuente debido a la gran cantidad de paradas que sufre la instalación. Por otra parte la repercusión económica asociada está ligada a la menor producción de energía eléctrica y consecuentemente a la reducción de ingresos por el concepto de ingreso por energía vendida a la red.

El inicio del proyecto de optimización comienza con la identificación de los equipos que provocan las pérdidas, el objetivo de este proyecto es disminuir el consumo y aumentar la disponibilidad y por lo tanto se intentará que la planta funcione de forma continuada. Como consecuencia no es relevante para este proyecto los problemas en equipos no relacionados con el ciclo de agua-vapor que con llevan paradas y estas circunstancias no serán reflejadas en las mediciones y en el posterior análisis de éstos.

En el gráfico podemos comprobar el irregular funcionamiento de la instalación, las paradas como veremos son frecuentes y el tiempo de parada asociado a la reparación es bastante elevado. Este desarrollo de la

producción nos determina que la planta tarda mucho tiempo en repararse como consecuencia de una parada.

Para definir correctamente el proyecto determinaremos los puntos críticos para la calidad en función de las entidades involucradas, las cuales tienen distintos intereses por los que conseguir los objetivos del proyecto de forma satisfactoria.

3. Antecedentes.

La tecnología de generación eléctrica con ciclos combinados de gas natural es una de las más eficientes y con menor impacto ambiental, y está ya ampliamente extendida en todo el mundo. Es prácticamente la única tecnología utilizada en los nuevos proyectos de generación eléctrica que se están instalando en los países desarrollados, y un sistema que permitirá ir sustituyendo a los tradicionales, con la consiguiente reducción de emisiones a la atmósfera.

Esta tecnología consiste en utilizar la combustión del gas natural (turbina de gas) y el vapor que producen los gases de escape (caldera de recuperación y turbina de vapor) para generar electricidad. Estos dos procesos funcionan de manera complementaria, lo que permite alcanzar rendimientos energéticos muy elevados, ya que se obtiene electricidad en dos etapas utilizando una única fuente de energía.

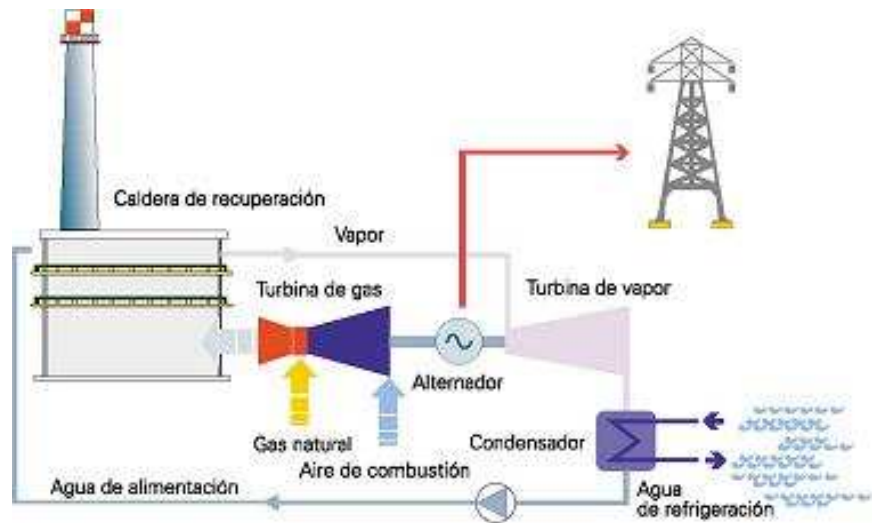


Figura 1. Esquema general Central Térmica de Ciclo Combinado.

La generación eléctrica con ciclos combinados representa, pues, el mejor modelo energético, ya que permite unos rendimientos más elevados que otros sistemas de generación eléctrica y, al mismo tiempo, reduce el impacto medioambiental, al utilizar una energía menos contaminante en un sistema más eficiente.

Los grupos generadores de ciclos combinados tienen un rendimiento de más del 57%, muy superior al de una central convencional. Esto significa que por cada kilovatio hora de electricidad producida se necesita un tercio menos de energía primaria, es decir, de gas natural.

Destaca por sus bajas emisiones, que se reducen en un 60% en el caso del dióxido de carbono y en un 70% en el de los óxidos de nitrógeno, respecto a una central convencional. Además, las emisiones de dióxido de azufre y de partículas son prácticamente nulas.

Concretamente, y según se recoge en el estudio "Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica", publicado por el Instituto para

La Diversificación y ahorro de Energía (IDAE), la generación de electricidad con gas natural tiene un menor impacto sobre el medio

ambiente que los sistemas solar fotovoltaico, nuclear y los sistemas de generación con carbón, petróleo y lignito.

Además, los grupos generadores de ciclo combinado consumen solamente un tercio del agua de refrigeración que requiere una central convencional de la misma potencia y la instalación ocupa menos espacio que una central convencional.

3.1. Introducción.

Una planta de ciclo combinado está formada por cuatro equipos principales, turbina de gas, turbina de vapor, generador y caldera recuperadora de vapor.

Básicamente se trata de generar electricidad a partir de la combustión de gas natural. Dichos gases de combustión pasan a una turbina que mueven un alternador. A la salida de la turbina de gas los gases han perdido temperatura, pero aun contienen la suficiente para que sea aprovechada en una caldera recuperadora de vapor para generar calor. Una caldera recuperadora (HRSG), es un intercambiador de calor donde el gas calienta un grupo de tubos por los que circula agua o vapor que se aprovecha en una turbina de vapor para mover un alternador.

Termodinámicamente, esto implica la unión de ciclo Bryton (Turbina de gas), con un ciclo rankine (Caldera).

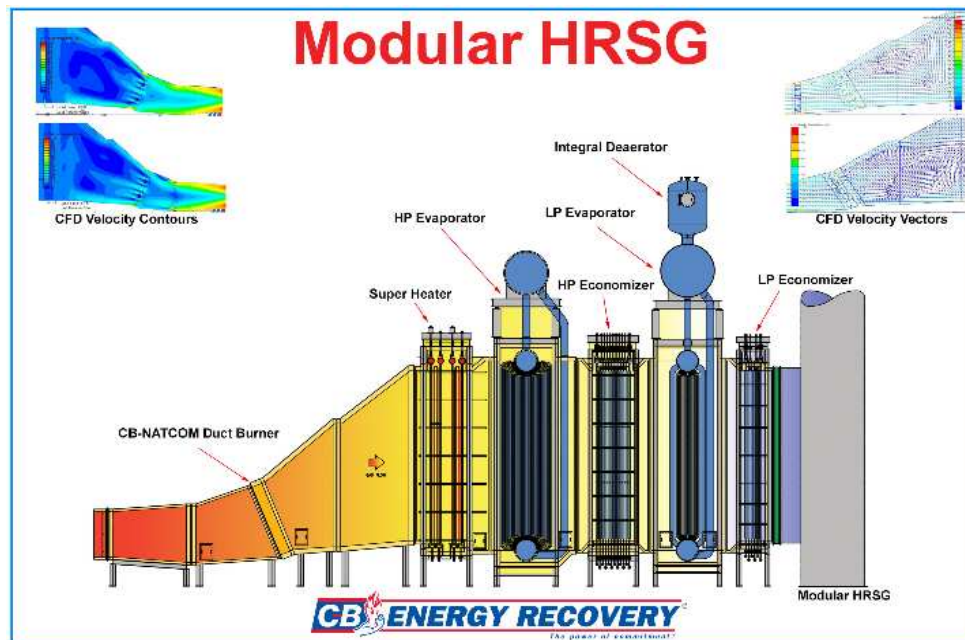


Figura 2. Sección Caldera tipo Vertical.

3.2. Funcionamiento de la caldera de recuperación de calor.

La caldera de recuperación de calor o HRSG (heat recovery steam generator) en un ciclo combinado es el elemento encargado de aprovechar la energía de los gases de escape de la turbina de gas transformándola en vapor. Con posterioridad, ese vapor puede transformarse en electricidad por una turbina de gas, ser utilizado en procesos industriales o en sistemas de calefacción centralizados.

Las calderas de recuperación de calor pueden clasificarse en calderas con o sin postcombustión y en calderas horizontales o verticales y también por el número de veces que el agua pasa a través de la caldera conocidas como OTSG (One Time Steam Generator).



Figura 3. Caldera de recuperación de calor.

Las partes principales de una caldera de recuperación de calor son:

- Desgasificador, es el encargado de eliminar los gases disueltos en el agua de alimentación, oxígeno principalmente y otros gases que nos podría provocar corrosiones.
- Tanque de agua de alimentación, deposito donde se acumula el agua que alimenta a nuestro sistema, esta agua debe ser muy pura para evitar impurezas que nos podrían obstruir los conductos, erosionarlos o corroerlos por las sustancias que llevasen con ellos.
- Calderín, es el lugar de donde se alimenta el evaporador de agua y el sobrecalentador de vapor. Puede haber diferentes tipos de calderines según la turbina de vapor que alimenten ya sean de baja, media o alta presión.

- Bombas de alimentación, son las encargadas de enviar el agua desde el tanque de agua de alimentación a su calderín correspondiente.

- Economizadores, son los intercambiadores encargados de precalentar el agua de alimentación con el calor residual de los gases de escape, aprovechando su energía con lo que aumentamos el rendimiento de nuestra instalación y evitamos saltos bruscos de temperatura en la entrada de agua.

- Evaporadores, son intercambiadores que aprovechan el calor de los gases de escape de temperatura intermedia para evaporar el agua a la presión del circuito correspondientes, la circulación del agua a través de ellos puede ser forzada o natural, en la forzada se utilizan bombas y en la natural el efecto termosifón, aunque también se usan bombas en los momentos de arranque o cuando sea necesario, devolviendo el vapor al calderín.

- Sobrecalentadores y Recalentadores, son los intercambiadores que se encuentran en la parte más cercana a la entrada de los gases procedentes de la combustión en la turbina de gas, el vapor que sale ya está listo para ser enviado a la turbina de vapor, este vapor debe ser lo más puro posible y debe ir libre de gotas de agua que deteriorarían nuestra turbina, también debemos tener controlada la temperatura y presión del vapor para evitar estrés térmico en los diferentes componentes.

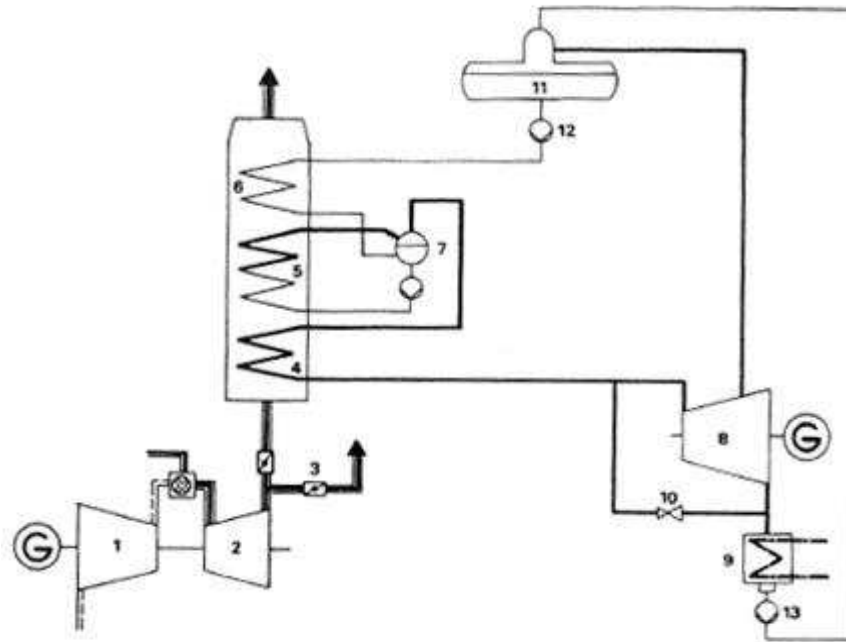


Figura 4. Esquema del sistema de recuperación de calor.

Donde:

- 1) Compresor.
- 2) Turbina de Gas.
- 3) Bypass
- 4) Sobrecalentador o recalentador.
- 5) Evaporador.
- 6) Economizador.
- 7) Calderín.
- 8) Turbina de gas
- 9) Condensador.
- 10) Bypass de vapor.
- 11) Depósito de agua de alimentación/ Desgasificador.
- 12) Bomba de alimentación.

13) Bomba de condensado.

3.3. Proceso térmico del ciclo Agua/Vapor.

La HRSG es del tipo de presión triple. Consta de economizadores de AP, MP y BP que precalientan el agua de alimentación y la inyectan a los calderines. Los evaporadores de AP, MP y BP producen vapor que se separan en cada calderín

3.3.1. Circuito agua-vapor de una central de ciclo combinado.

A medida que los gases pasan por la caldera ceden calor a los haces tubulares (sobrecalentadores, recalentadores, evaporadores, economizadores) y después abandonan la caldera por la chimenea. La temperatura de los gases en la entrada de la caldera pueden alcanzar los 600°C y a la salida de la chimenea, alrededor de los 110°C. El agua puede entrar en el economizador de alta a 60°C y salir a la turbina de vapor alrededor de 560°C.

El circuito agua-vapor es de tres niveles de presión de vapor, alta (AP), media (MP) y baja (BP). El vapor entra en la turbina, dividida en tres AP. MP y BP, se expande a su paso por los alabes y hace girar el eje de la turbina que está unido al eje de alternador, donde la energía mecánica se transforma en energía eléctrica.

El agua del que se alimenta la caldera está almacenada en el tanque de agua de alimentación.

3.3.2. Circuito agua-vapor de alta presión.

La bomba de agua de alimentación de AP alimenta de agua de AP a la caldera a 110 bar. El agua entra en la caldera por la primera etapa del economizador de AP. En este economizador el agua se calienta hasta

155°C, después pasa a la segunda etapa del economizador de AP a 233°C y finalmente a la tercera etapa del economizador de AP a 329, estas temperaturas son orientativas dado que varían según el régimen de carga.

El agua circula desde el economizador hasta el calderín de AP. Un calderín es un depósito cilíndrico que contiene agua en fase líquida y vapor y sirve para separar el agua del vapor. El calderín contiene separadores mecánicos que eliminan el agua del vapor y solo permiten la salida de vapor saturado seco (las gotas de agua serían perjudiciales para el sobrecalentador y la turbina).

El calderín de AP alimenta de agua al evaporador de AP, donde se produce la vaporización del agua, este vapor húmedo vuelve de nuevo al calderín de AP. El calderín de AP suministra vapor saturado a los sobrecalentadores de AP, donde el vapor saturado aumenta su temperatura a los 560°C y alcanza así las condiciones óptimas para entrar en la turbina de vapor de AP.

El vapor de alta ha cedido parte de su energía a la turbina de vapor de alta y sale de ella como vapor de MP, que es reconducido al recalentador de MP.

Antes de entrar el vapor de AP en la turbina de AP, existe una línea denominada bypass de turbina de vapor de AP. Esta línea de bypass es utilizada principalmente en los arranques y sirve para que el vapor de AP no pase por la turbina de vapor de AP hasta que no tenga las condiciones adecuadas para entrar en la turbina de MP. El bypass conduce el vapor de AP al recalentador de MP.

3.3.3. Circuito agua-vapor de media presión (MP).

La bomba de agua de alimentación de MP, de 60 bar, suministra agua a la primera etapa del economizador de MP a 120°C, Luego, el agua fluye

hacia la segunda etapa del economizador de MP a 190°C. Esta etapa tiene una extracción para precalentar el gas de combustión, que se devuelve al tanque de agua de alimentación.

El agua abandona el economizador y pasa al calderín de MP. El calderín de MP alimenta al evaporador de MP, en este haz tubular se produce el cambio de líquido a vapor húmedo y de aquí vuelve al calderín de MP a 225°C. El vapor húmedo sale de calderín como saturado y pasa entonces al sobrecalentador de MP, donde el vapor de MP sufre un aumento de temperatura. A la salida, el vapor de es mezclado con el vapor de MP de escape de la turbina de AP a 360°C, una vez mezclados entran en el recalentador de MP donde el vapor sufre un calentamiento adicional a 570 °C, alcanzando las condiciones óptimas para entrar en la turbina de MP.

Existen dos líneas secundarias en este circuito agua-vapor de MP. Antes que el vapor de escape de la turbina de vapor de AP se mezcle con el vapor del sobrecalentador de MP, existe una línea que desvía una proporción muy pequeña de este vapor de MP y lo envía al desgasificador.

El desgasificado es un depósito situado sobre el tanque de agua de alimentación. Su función es eliminar mediante vapor los gases disueltos en el agua condensada que entra en el tanque de agua de alimentación. Si no se eliminan estos gases del agua condensada, pueden aparecer burbujas de gas en el agua de caldera, lo que puede provocar un mal funcionamiento.

Antes de entrar el vapor de MP en la turbina de MP, existe una línea denominada bypass de turbina de vapor de MP. Esta línea de bypass es utilizada principalmente en los arranques y sirve para que el vapor de MP no pase por la turbina de vapor de MP hasta que no tenga las condiciones adecuadas para entrar en la turbina de MP. El bypass conduce el vapor de MP a la salida de la turbina de vapor de BP, justo antes del condensador.

3.3.4 Circuito agua –vapor baja presión (BP).

El calderín de BP se alimenta directamente de la primera etapa de economizadores de MP a 120°C, no hay bomba de BP. Este calderín alimenta agua al evaporador de BP a 3 bar, en este haz tubular se produce el cambio de fase, de líquido a húmedo. Este vapor húmedo vuelve al calderín a 150°C. El vapor saturado sales del calderín de BP hacia la turbina de BP, pero antes se mezcla con el vapor de BP de la salida de la turbina de MP.

El vapor de BP acciona la turbina de vapor de BP. Esta tiene dos extracciones e vapor dirigidas al desgasificador. Al igual que en MP existe una línea de BY-Pass de turbina de vapor de BP, que funciona cuando no se han alcanzado las condiciones optimas para entrar a la turbina de BP.

3.4. Línea de condensado.

El vapor de escape de la turbina de BP es un vapor de muy baja presión que es conducido al condensador, que es fundamentalmente un enfriador. El agua refrigerante enfría el vapor y este se condensa. Esta condensación también se producirá en los vapores que circulan por los bypass de la turbina de AP, MP y BP. Esta agua condensada es impulsada por la bomba del condensador al desgasificador, donde se eliminan los gases disueltos y cae de nuevo al tanque de agua de alimentación. Este aguas ya está dispuesta otra vez para ser circulada a los economizadores de la caldera a través de las bombas de AP y MP.

Cuando el nivel desciende en el tanque de agua de alimentación la válvula de agua de relleno de servicio se abre y el agua desmineralizada se inyecta en el condensador. Si el nivel continua disminuyendo la válvula de relleno de emergencia se abre que se inyecta en el colector de agua y vapor de vacío del condensador.

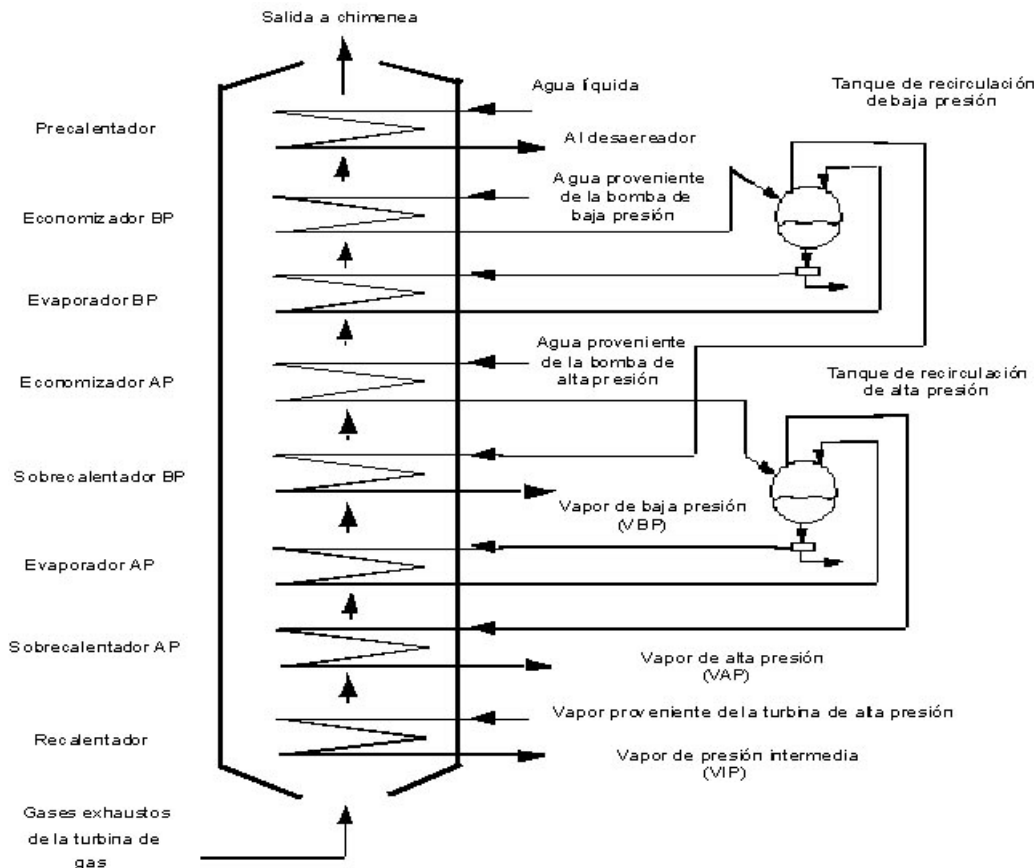


Figura 5. Esquema de Caldera recuperación de calor.

3.5. Drenajes del ciclo agua/vapor.

El sistema de drenajes de un ciclo agua/vapor tiene como misión recoger las condensaciones procedentes de los drenajes de las tuberías de vapor, así como separar el agua del vapor cuando se está generando vapor.

Se debe de distinguir entre drenajes internos y externos. Los drenajes externos son aquellos por los que puede fluir vapor mientras la turbina no está en operación, y drenada directamente a un deposito de expansión a la atmosfera. Los drenajes internos son aquellos que solo funcionan cuando la turbina de vapor esta en operación, y descargan al colector de agua y vapor de vacío del condensador.

Durante el arranque se forman condensados en las líneas de admisión de vapor y de la carcasa de la turbina. Si no se elimina este condensado a través de las líneas de drenaje, el condensado entraría en la turbina cuando se abran las válvulas principales de control, causando golpes de ariete, causando graves perjuicios a la turbina.

Los drenajes de externos una válvula de aislamiento controlada neumáticamente y drenan hacia la caja colectora de vapor

Cuando la turbina alcanza el 15% de carga, hay calor suficiente para que el vapor que entra en la turbina no se condense más, cerrando los drenajes de arranque.

3.6. Acondicionamiento Químico del circuito de agua/vapor.

El agua de alimentación, el vapor y la condensación se alcalinizarán mediante la dosificación de amoníaco en solución diluida (entre 0.5 y 10% de NH_3) y/o Hidracina en solución diluida (entre 0.5 y 10% de NH_4).

La concentración requerida es de aprox. 0.03- 2 mg de amoníaco por kilo de condensación con perdidas normales de aproximadamente 0,05 mg/kg. La inyección de amoníaco se controla mediante la medición de conductividad del agua de alimentación. La bomba de dosificación arrancara al nivel de 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y parara al nivel de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La inyección de Hidracina se ajusta manualmente basando en los resultados del análisis de Hidracina manual y oxígeno de la agua de alimentación.

La dosificación de Hidracina solo se recomienda en el caso de que el oxígeno del agua de alimentación supere los límites especificados.

El pH requerido del agua de caldera se mantendrá mediante la dosificación de una solución de fosfato trisódico (entre el 0.5 y 5% de Na_3PO_4). La dosificación requerida debe mantenerse entre 2 y 6 mg/Kg de PO_4 en el

agua de la caldera. La regulación está controlada mediante la medición en continuo del pH en los calderines. La bomba de dosificación arrancará al nivel de pH 9 y parará al nivel de 9,5.

Como puntos de inyección tenemos:

- El amoníaco y la Hidracina suele inyectarse en la tubería de descarga de las bombas de condensado. Alternativamente puede inyectarse en el tanque de agua de alimentación.
- El fosfato se inyecta directamente en los calderines de la caldera

4. Normas y referencias

4.1. Bibliografía / Referencias

- Norma UNE 157001, Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- Minitab training Manual Release 14 Minitab Inc 2003.
- Norma de calidad **ISO 50001** de Sistemas de Gestión Energética.
- BROWN STEVE, MORRISON GEORGE, The Introduction to Six-Sigma methodology, editorial Trillas;1991.
- León Lefcovich; Mauricio "Seis Sigma – hacia un nuevo paradigma en gestión". www.monografias.com.
- Santiago sabugal Garcia, Florentino Gomez Monuz: "Centrales de ciclo combinado, teoría y proyecto". Edit. Diez de Santos. 2006.
- Prabhakar Kaushing and Dinesh Kandujhan. "DM make up water reduction in thermal water plants using six sigma" Journal of Scientific and Industrial research.
- Thomas Pysdek." The six sigma Project planner", Editorial Mcraw-Hill, 2003

4.2. Páginas webs.

www.monografias.com

www.confiableidad.net

www.ingentaconnect.com

www.conae.gob.mx.com

4.3. Programas de Cálculo.

- Minitab

5. Definiciones y abreviaturas.

KKS: con la figura del *tag* recurrimos para definir la función que realiza una máquina compuesta por diferentes elementos, este *tag* vendrá representado por la codificación que tenga cada equipo dentro de su unidad. Existe la figura del *supertag* que se recurre a ella para englobar la función que realiza los tag independientes; por ejemplo el caso de dos equipos uno reserva del otro, recurriremos al uso del *supertag* para evaluar el desempeño de la función, incluyendo a los dos equipos.

Diagrama de Pareto: Es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar y seleccionar los aspectos prioritarios que hay que tratar.

Diagrama ABC o Ley de las Prioridades 20-80: El 80% de los problemas que ocurren en cualquier actividad son ocasionados por el 20% de los elementos que intervienen en producirlos".

Diagrama de Ishikawa: es una representación gráfica de las relaciones lógicas existentes entre las causas que producen un efecto bien definido.

Líder (Champion): Son líderes de la alta gerencia quienes sugieren y apoyan proyectos , ayudan a obtener recursos necesarios y eliminan los obstáculos que impiden el éxito del proyecto. Incluye participación en revisión y aseguran que se desarrolle la metodología Six Sigma.

Maestro de Cinta Negra (Master Black Belt) : Son expertos de tiempo completo, capacitados en las herramientas y tácticas de Six Sigma, son responsables del desarrollo e implantación de la estrategia de Six Sigma para el negocio.

Cinta Negra (Black Belt): Son líderes de equipos responsables de medir, analizar, mejorar y controlar procesos que afectan la satisfacción del cliente, la productividad y calidad, la duración de capacitación es aproximadamente seis semanas.

Cinta Verde (Green Belt): Son ayudantes de un cinta negra, su capacitación es de tres a cuatro semanas.

MCR. Maximus Continuous Rating.

6. Requisitos de diseño

6.1. Descripción de la instalación. Equipos técnicos

En una central eléctrica el ciclo de gas genera energía eléctrica mediante una o varias turbinas de gas y el ciclo de vapor de agua lo hace mediante una turbina de vapor. El principio sobre el cual se basa es utilizar los gases de escape a alta temperatura de la turbina de gas para aportar calor a la caldera o generador de vapor de recuperación, la que alimenta a su vez de vapor a la turbina de vapor. La principal ventaja de utilizar el ciclo combinado es su alta eficiencia, ya que se obtienen rendimientos superiores al rendimiento de una central de ciclo único y mucho mayores que los de una de turbina de vapor. Consiguiendo aumentar la temperatura de entrada de los gases en la turbina de gas, se obtienen rendimientos de la turbina de gas cercanos al 60%, exactamente 58% en las más modernas turbinas Alstom Este rendimiento implica una temperatura de unos 1.260°C a la salida de los gases de la cámara de combustión. El límite actualmente es la resistencia a soportar esas temperaturas por parte

de los materiales cerámicos empleados en el recubrimiento interno de las cámaras de combustión de esas turbinas.

Las centrales de ciclo combinado son, como todas ellas, contaminantes para el medio ambiente y para los seres vivos, incluidas las personas, por los gases tóxicos que expulsan al ambiente. No obstante es la que menos contamina de todas las industrias de producción de electricidad por quema de combustible fósil. Básicamente las emisiones son de CO₂. Las emisiones de NO_x y SO₂ son insignificantes, no contribuyendo por tanto a la formación de lluvia ácida. Dependiendo estos efluentes gaseosos del tipo de combustible que se queme en la turbina de gas.

Un ciclo combinado ayuda a absorber una parte del vapor generado en el ciclo Joule y permite, por ello, mejorar la recuperación térmica, o instalar una turbina de gas de mayor tamaño cuya recuperación térmica no estaría aprovechada si no se utilizara el vapor en una segunda turbina de contrapresión.

En un ciclo combinado el proceso de vapor es esencial para lograr la eficiencia del mismo. La selección de la presión y la temperatura del vapor vivo se hacen en función de las turbinas de gas y vapor seleccionadas, selección que debe realizarse con criterios de eficiencia y economía. Por ello se requiere la existencia de experiencias previas e "imaginación responsable" para crear procesos adaptados a un centro de consumo, que al mismo tiempo dispongan de gran flexibilidad que posibilite su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño.

Las centrales eléctricas de ciclo combinado son una parte fundamental del mix energético español. A final de 2008 este tipo de centrales representaba el 24% de la potencia eléctrica total instalada en España y generó el 32% de la demanda anual. Su gran ventaja es que son centrales con una alta capacidad de regulación, de forma que son capaces de variar su potencia con relativa facilidad para adaptarse a la demanda.

6.1.1. Descripción General del centro.

La Central Térmica de Ciclo Combinado (CTCC) de San Roque, de propiedad GAS NATURAL, está situada a unos 4 metros sobre el nivel del mar, en el Polígono Industrial Guadarranque, del término municipal de San Roque (Cádiz), en una parcela de 135.000 m² y dentro de una zona vallada de 95.000 m². La parcela tiene forma triangular, linda al sureste con el Arroyo de la Madre Vieja, al noreste con una zona libre por donde discurre un oleoducto, un gaseoducto, líneas eléctricas y una línea de ferrocarril. El resto de la parcela linda con el vial de acceso a la Central.

Los combustibles empleados para su funcionamiento son el Gas Natural, suministrado mediante gasoducto y el Gasoil, almacenado en la Planta en dos depósitos. Existe un edificio donde se desarrollan actividades de tipo gestión administrativa (oficinas) así como base operativa para el mantenimiento de la planta.

A modo de índice no exhaustivo, la CTCC está compuesta principalmente por las siguientes instalaciones:

- GIS, Transformador Principal y de Servicio.
- Sala de Baja Tensión, Media Tensión, Baterías y Sistemas de Control.
- Generador, SFC y sistemas de excitación.
- Turbo-eje.
- Cerramiento TG.
- Estación de Regulación y Medida de Gas (ERM).
- Talleres (mantenimiento, almacenamiento).
- Plata de tratamiento de agua (PTA).
- Depósitos de Gasoil.
- Depósitos de almacenamiento de agua.

6.2. Régimen de explotación previsto y real. Situación actual

El coste de producción de la energía eléctrica está dado por la relación entre el coste total de la instalación de generación y la cantidad de energía producida. Además las características técnicas de la instalación hacen necesario que la planta funcione de forma constante, es decir, que sean capaces de funcionar 8000 horas al año.

La disponibilidad de la planta es muy inferior a las estimaciones iniciales y como consecuencia la rentabilidad asociada a la explotación presenta un descenso importante.

La situación actual del mercado de la electricidad con la entrada de nuevos competidores, de generación renovables, junto con los altos precios del gas natural, han producido una gran disminución en la rentabilidad de este tipo de instalaciones.

Hay que añadir que, el sistema de explotación de la instalación bajo un contrato O&M de ocho años de duración a una empresa que explota la instalación en condición de subcontratación. Los problemas entre propiedad y la empresa subcontratista, por las interpretaciones al contrato, han producido una disminución de la inversión en planta, con el consiguiente desgaste en equipos y no dando la empresa subcontratada la importancia requerida al consumo de agua desmineralizada de caldera con el consiguiente aumento del consumo específico, y así mismo de los costes de explotación.

6.3. Política de la filosofía six-sigma.

El proceso de la mejora del programa Six sigma, se elabora en base a una serie de pasos que se muestran a continuación:

1. Definir el producto y servicio.
2. Identificar los requisitos de los clientes.
3. Comparar los requisitos con los productos.
4. Describir el proceso.
5. Implementar el proceso.
6. Medir la calidad y producto.

Las medidas de calidad deben contener las siguientes características:

1. Los procesos de producción pueden utilizar el error de tolerancia.
2. Detectar los defectos por unidad (DPU).

6.4. Evaluación de resultados.

Seis Sigma es una metodología rigurosa que utiliza análisis estadístico para medir y mejorar la fabricación y los procesos relacionados al servicio a través de cinco pasos procesales: definir, medir, analizar, mejorar, y controlar (DMAIC por sus siglas en ingles). El objetivo es de aumentar la capacidad de ganancia mejorando el desempeño y reducir la variabilidad.

El objetivo final es identificar cuáles son las variables (causas) que determinan el funcionamiento del proceso y su rendimiento, y aplicar las medidas correctivas necesarias. Esta fase es la que más se apoya en los métodos estadísticos. Las herramientas de análisis deben emplearse para determinar dónde estamos, no para justificar los errores.

7. Análisis de Soluciones

7.1. Metodología de análisis.

El método Seis Sigma es una orientación estratégica que busca alcanzar una mejora en los procesos empresariales, asociando la variabilidad de los procesos a la insatisfacción de los clientes y a los costes de mala calidad. Este método establece una manera global de ver los procesos y sus actividades para trabajar mejor en lugar de trabajar más. Además comprende un conjunto de valores que cambian la forma tradicional de comprender y gestionar las organizaciones mediante un método estructurado y un conjunto de herramientas que analizan los procesos e identifica oportunidades de mejorar radicalmente su funcionamiento.

7.2. Beneficios del Six-Sigma.

La metodología Six-Sigma es aplicada a procesos industriales con el fin de obtener una buena calidad de los productos (bienes y servicios). La mayoría de las compañías a nivel mundial utilizan la metodología 6 σ elaborando inspecciones visuales y electrónicas y aplicando las herramientas estadísticas, con las cuales se puede observar el comportamiento de los procesos.

Una vez observado el comportamiento del proceso, se procede a reducir al máximo los defectos en los productos o servicios, y lograr la plena satisfacción del cliente. Las empresas japonesas son un ejemplo en donde se aplica el Six Sigma, debido a que en los procesos de producción utilizan el sistema vendedor-cliente, en cada etapa del proceso y cada etapa es responsable de su actividad y debe entregar el producto con buena calidad (sin defectos). La aplicación del Six-Sigma en B.C., ha generado un

avance en los sistemas de calidad y por lo tanto en los productos. Las empresas que se visitaron ascendieron rápidamente a la aplicación de la metodología y los resultados se han reflejado en poco tiempo, de acuerdo a las capacidades de las empresas y del personal que trabaja en ellas.

8.- Resultados finales.

El análisis Six Sigma realizado a la caldera y sus equipos de purgas tuvo como resultado un nuevo programa proactivo de mantenimiento y operación que define el trabajo correcto de mantenimiento en el momento oportuno.

La consecuencia lógica de todas estas mejoras, potenciadas por el trabajo en equipo y por lograr alinear las distintas áreas técnicas y la logística de las centrales con el Proceso de Mantenimiento, mucho más allá del departamento, es una mejora de la disponibilidad de la central y también de su eficiencia.

La mejora de eficiencia y de fiabilidad resulta de la reducción de la principal fuente de indisponibilidad en las centrales, acompañada de una reducción de paradas y arranques para reparaciones forzosas, un menor consumo de combustibles (auxiliar y principal) y un menor consumo de agua desmineralizada, ambos derivados de no operar la caldera con pérdidas de agua o de vapor y de tener menos arranques.

Por lo tanto el resultado esperado es una reducción en los costes de operación en el proceso de generación de energía, por la disminución del consumo de agua y la mayor disponibilidad de la planta.

Programa de mejora de la química del ciclo

Los mecanismos de fallo influenciados químicamente son el principal problema en Tubos de caldera. En todo el mundo, los problemas asociados a la química del ciclo son los responsables de entre el 50 y el 70% de la indisponibilidad fortuita en las centrales térmicas convencionales (incluyendo ciclos combinados). Dichos problemas están asociados a fenómenos con un largo período de incubación. Sin embargo, esto va ligado a un buen ajuste de los parámetros químicos del agua para evitar perder vapor por las purgas.

Programa de identificación de fugas en válvulas de drenaje y trampas de vapor.

El alto desgaste de los equipos sometidos a la alta temperatura, presiones y flujos produce la fuga de vapor, y por lo tanto de aumento de coste, por lo que se hace necesario, analizar el estado actual del sistema y establece un programa de seguimiento para evitar fugas en equipos.

Programa de reducción de fallos en tubos de caldera.

Los fallos de tubos son la causa primaria de indisponibilidad en calderas, tanto de combustión como de recuperación de calor.

Los continuos arranques y paradas de plantan someten a los tubos y paredes de la caldera a considerables esfuerzos térmicos que provocan continuas roturas en los materiales, con la consiguiente pérdida de disponibilidad, y continuas fugas por roturas de tubos, por lo que se hace necesario realizar un estudio de dilataciones en la caldera, a fin de reducir estos incidentes, y elaborar un nuevo programa de arranque para reducir el efecto del estrés térmico.

Un programa para controlar el funcionamiento de la planta generadora de vapor, en la que se controla la operación de la generación de equipos y la turbina de vapor y gas de acuerdo con los parámetros de operación de la planta. El programa debe permitir una rápida puesta en marcha de la planta mientras se mantiene la tensión térmica en la parte de la planta por debajo de un determinado nivel permisible.

Estas plantas de energía tienen también que responder a las demandas para la rápida puesta en marcha y parada, así como la demanda de un cambio drástico del nivel de carga. Por lo tanto, es muy importante para determinar precisamente las tensiones térmicas que ocurren en las zonas de calor, maximizando así la vida de estas partes.

8.1. Coste económico de la implantación de la metodología Seis Sigma.

Los costes iniciales de la implantación de la metodología son los siguientes:

Formación six sigma personal equipo	30000 €
Hardware/software	15000 €
Subcontratación análisis estrés térmico caldera	90000 €

Siendo el total de la intervención inicial.....135000 €

9. Planificación

9.1. Planificación del proyecto.

El proyecto se desarrolla conforme a las etapas de la metodología DMAIC:

Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

ACTIVIDADES	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
DEFINIR	■	■	■			
MEDIR		■	■	■		
ANALIZAR			■	■	■	
MEJORAR				■	■	■
CONTROLAR						■

10. Orden de prioridades entre los Documentos básicos del proyecto.

Los documentos Básicos del proyecto son los siguientes:

Documento 1. Memoria.

Memoria.

Anejos.

Anejo 1. Introducción a la metodología seis sigma

Anejo 2. Aplicación de la metodología seis sigma al caso San Roque

Anejo 3. Análisis Económico Financiero

Documento 2. Planos.

Documento 3. Pliego de condiciones Técnicas Particulares.

Documento 4. Presupuesto.

Siendo el orden de prioridad para este proyecto el especificado en la normativa UNE 157001.



ANEJO Nº 1

INTRODUCCION A LA METODOLOGIA SEIS SIGMA

INDICE..... INTRODUCCION A LA METODOLOGIA SEIS SIGMA

1. Metodología Seis Sigma.	39
2. Estrategia de Implantación del Seis Sigma.	41
3. Seis Sigma & Mantenimiento.	43
3.1. El Significado de Six Sigma.	43
3.2. Determinación del nivel Sigma en Mantenimiento.	46
4. Método de Resolución de Problemas. DMAIC.	46
4.1. Definir.	50
4.1.1. Clientes y sus necesidades.	50
4.1.2. Visión global del proceso.	51
4.1.3. Cuadro del proyecto.	55
4.1.4. Desarrollo cuadro del proyecto.	57
4.2. Medir	61
4.2.1. Estandares de rendimiento	62
4.2.2. Proceso de selección Y's del proyecto	64
4.2.3. Proceso de selección X's del proyecto	66
4.2.4. Herramientas básicas para la fase de medición.	68
4.2.5. Conceptos estadísticos. Datos cuantitativos.	70
4.2.6. Gráficos y diagramas.	72
4.2.7. Probabilidad.	74
4.2.8. Muestras y muestreo.	76
4.2.9. Teorema del límite central.	77
4.2.10. Recogida de datos.	77
4.2.11. Análisis de los sistemas de medidas.	79
4.2.12. Capacidad del proceso.	83
4.3. Analizar.	87
4.3.1. Análisis gráfico.	88
4.3.2. Pruebas de hipótesis.	89
4.3.3. Tablas de contingencia.	93

4.3.4. Análisis de la varianza.	97
4.4. Mejorar	99
4.4.1. Introducción al DOE.	101
4.4.2. Generación de soluciones.	105
4.4.3. Evaluación de riesgos.	107
4.4.4. Prueba de alternativas.	108
4.4.5. Selección de alternativas.	110
4.5. Controlar.	112
4.5.1. Métodos estadísticos del control de procesos.	116
4.5.2. Sistema a prueba de errores.	122
4.5.2. Métodos de las 5'S.	123

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Tabla Rendimiento Sigma.	45
Figura 2. Esquema General DMAIC.	49
Figura 3. CTQ's del proceso.	50
Figura 4. Necesidades del Cliente.	51
Figura 5. Definición del proceso.	54
Figura 6. Esquema general Definir.	60
Figura 7. X's del proceso.	62
Figura 8. Causas comunes y especiales.	64
Figura 9. Distribución Normal.	71
Figura 10. Tipos de Gráficos.	73
Figura 11. Distribución Normal.	75
Figura 12. Necesidades de Información.	78
Figura 13. Criterios de Aceptación.	81

Figura 14. Capacidad del Proceso.	84
Figura 15. Esquema general Medir.	86
Figura 16. Gráficos de dispersión.	89
Figura 17. Tablas de Contingencias.	94
Figura 18. Coeficientes de Correlación.	96
Figura 19. Regresión Simple.	97
Figura 20. Esquema general Analizar.	99
Figura 21. Estrategia de Mejora.	101
Figura 22. Diseño de experimentos.	102
Figura 23. Esquema general Mejorar.	111
Figura 24. Sistema de control de procesos.	113
Figura 25. Bucle de retroalimentación.	115
Figura 26. Control Estadístico de Procesos.	117
Figura 27. Esquema general Contralar.	125

1. Metodología Seis Sigma

El método Seis Sigma es una orientación estratégica que busca alcanzar una mejora en los procesos empresariales, asociando la variabilidad de los procesos a la insatisfacción de los clientes y a los costes de mala calidad. Este método establece una manera global de ver los procesos y sus actividades para trabajar mejor en lugar de trabajar más. Además comprende un conjunto de valores que cambian la forma tradicional de comprender y gestionar las organizaciones mediante un método estructurado y un conjunto de herramientas que analizan los procesos e identifica oportunidades de mejorar radicalmente su funcionamiento.

La metodología Seis Sigma se basa en una serie de factores clave que permiten por una parte, conseguir resultados importantes y sostenidos, y por otra parte, transformar a la organización que adopta el modelo Seis Sigma. Dichos factores son los siguientes:

- La orientación al cliente.
- La orientación al proceso.
- La implantación por proyectos, fijando objetivos y beneficios esperados por cada proyecto.
- La medición, rigurosa y sistemática, del rendimiento de los procesos y de su eficacia y su eficiencia a través de los costes de mala calidad.

El desarrollo de un proyecto aplicando Seis Sigma requiere la participación de todos los estamentos de la empresa, y en especial de la Dirección, los responsables del proyecto y el personal de la organización que aporte sus conocimientos y experiencias.

El concepto calidad en Seis Sigma adopta el significado de dar al cliente lo que quiere y sin fallos. Este enfoque permite diferenciar dos metodologías dentro de los programas Seis Sigma:

- Mejora Seis Sigma, cuyo objetivo es perfeccionar los productos o servicios actuales y los procesos en los que se obtienen hasta alcanzar niveles de excelencia.
- Diseño para Seis Sigma, cuyo objetivo es diseñar nuevos productos o servicios que, desde el principio, satisfagan las necesidades de los clientes y que se pueden producir sin fallos.

Normalmente los programas Seis Sigma comienzan con proyectos orientados a la mejora de los procesos actuales y, cuando se alcanza un grado de madurez suficiente, se realizan proyectos de diseño de nuevos productos o servicios y de los procesos en los que se van a obtener o proporcionar.

La medición que se utiliza en Seis Sigma es diferente de la forma tradicional de medir el funcionamiento de los procesos. Las medidas referidas a la tendencia de los procesos, generalmente los valores medios, se complementan con medidas que permitan comprender y evaluar la dispersión del proceso. Las medidas referidas a la eficacia de los procesos no solamente utilizan las unidades defectuosas, sino también los defectos por unidad y los defectos por oportunidad. Un proceso puede conseguir un producto o servicio defectuoso debido a una o varias causas o defectos en dicho proceso. El cliente percibe los defectos, no unidades defectuosas. Además el funcionamiento del proceso es diferente si produce las mismas unidades defectuosas pero con cantidades diferentes de defectos. De aquí las medidas de defectos por oportunidad.

Para asegurar el éxito de los proyectos de mejora, éstos deben cumplir unos requisitos técnicos y otros estratégicos.

Los requisitos técnicos requieren que los problemas de los que se encargarán los proyectos sean:

- Crónicos, es decir, que el problema a resolver sea un episodio poco frecuente.
- Manejables, lo que significa que se pueden resolver en un plazo breve.
- Significativos, de forma que el resultado esperado tenga impacto importante en los beneficios.
- Medibles, para que se puedan obtener datos que permitan evaluar el proceso y mejorarlo.

En cuanto a los requisitos estratégicos, cada empresa tiene los suyos. En unos casos se trata de conseguir objetivos del plan estratégico, en otros el problema es la urgencia de determinadas mejoras. También es preciso tener en cuenta las previsibles resistencias al cambio o posibles fracasos anteriores.

2. Estrategia de Implantación del Six Sigma.

Atraviesa por seis fases, siendo éstas las siguientes:

Identificación y selección de proyectos. La dirección considera los diversos proyectos de mejora presentados, seleccionando los más prometedores en función de posibilidades de implementación y de los resultados obtenibles. El uso del Diagrama de Pareto es una herramienta beneficiosa para dicha selección. Se procede a la formación de los equipos, entre los cuales se encuentra el Líder del grupo (Cinturón Negro), para lo

cual se involucrarán a aquellos individuos que posean las cualidades necesarias para integrarse al proyecto en cuestión (Cinturones Verdes).

En función de los planes se asignan partidas presupuestarias a los efectos de su puesta en marcha y funcionamiento. Se seleccionan los Líderes y Cinturones, en función de sus conocimientos, capacidades y puestos que actualmente ocupan.

Desarrollo del documento marco del proyecto. El documento marco es clave como elemento en torno al cual se suman las voluntades del grupo, sirviendo de guía para evitar desvíos y contradicciones. El mismo debe ser claro, fijar claramente los límites en recursos y plazos, y por sobre todas las cosas el objetivo supremo a lograr.

Capacitación de los miembros del equipo. Los mismos son capacitados, de no contar ya con conocimientos y/o experiencia en Six Sigma en estadísticas y probabilidades, herramientas de gestión, sistema de resolución de problemas y toma de decisiones, creatividad, pensamiento lateral, métodos de creatividad, PNL, planificación y análisis de procesos.

Ejecución del DMAIC (Definition, Measurement, Análisis, Improvement, Control) e implementación de soluciones. Los equipos deben desarrollar los planes de proyectos, la capacitación a otros miembros del personal, los procedimientos para las soluciones y son responsables tanto de ponerlos en práctica como de asegurarse de que funcionan (midiendo y controlando los resultados) durante un tiempo significativo.

Traspaso de la solución. Se determinan las mejoras producidas luego de la implementación de los cambios resultantes del desarrollo de los diversos proyectos. Ello se manifiesta tanto en niveles de rendimientos, como en niveles de sigma, DPMU y ahorros obtenidos. Es conveniente hacer un

seguimiento constante de los niveles de satisfacción. Luego de cumplido los objetivos para los cuales fueron creados los equipos se disuelven y sus miembros vuelven a sus trabajos regulares o pasan a integrar equipos correspondientes a otros proyectos.

3. Seis Sigma & Mantenimiento

3.1. El Significado de Six Sigma.

Six Sigma puede tener dos contextos entre los cuales tenemos:

- **Como Metodología.** Es una estrategia de negocios y de mejora continua que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos, enfocándose a las variables de importancia crítica para los consumidores.
- **Como Métrica.** Es una medida de la calidad. Mientras más grande es el valor de sigma de un proceso, producto o servicio, su calidad es mejor. En particular, calidad Six Sigma significa sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades

Six Sigma implica tanto un sistema estadístico como una filosofía de gestión, por lo tanto es una forma más inteligente de dirigir un negocio o un departamento donde se pone primero al cliente y usa datos para impulsar mejores resultados.

Los esfuerzos de Six Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo del ciclo
- Reducir los defectos

Podemos definir Six Sigma como:

- Una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.
- Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora del desempeño.
- Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

La letra griega minúscula sigma se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos, la medida en sigma se desarrolló para ayudarnos a:

- Enfocar las medidas en los clientes que pagan por los bienes y servicios. Muchas medidas sólo se concentran en los costes, horas laborales y volúmenes de ventas, siendo éstas medidas que no están relacionadas directamente con las necesidades de los clientes.
- Proveer un modo consistente de medir y comparar procesos distintos.

El primer paso para calcular el nivel sigma o comprender su significado es entender qué esperan sus clientes. En la terminología de Six Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llaman CTQs (Críticos para la Calidad). Se usa la medida en sigma para observar que tan bien o mal operan los procesos y darles a todos una manera común de expresar dicha medida.

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Figura1. Tabla Rendimiento Sigma.

Cuando una empresa viola requerimientos importantes del cliente, genera defectos, quejas y costes. Cuanto mayor sea el número de defectos que ocurran mayor será el coste de corregirlos, como así también el riesgo de perder al cliente.

La meta de Six Sigma es ayudar a la gente y a los procesos a que aspiren a lograr entregar productos y servicios libres de defectos. Si bien Six Sigma reconoce que hay lugar para los defectos pues estos son atinentes a los procesos mismos, un nivel de funcionamiento correcto del 99,9997 por 100 implica un objetivo donde los defectos en muchos procesos y productos son prácticamente inexistentes.

La meta de Six Sigma es especialmente ambiciosa cuando se tiene en cuenta que antes de empezar con una iniciativa de Six Sigma, muchos procesos operan en niveles de 1, 2 y 3 sigma, especialmente en áreas de servicio y administrativas.

Las ideas, soluciones, descubrimientos en procesos y mejoras que surgen de Six Sigma están poniendo más responsabilidad a través de la participación, en las manos de la gente que está en las líneas de producción y/o que trabajan directamente con los clientes. "Six Sigma es pues, un

sistema que combina un fuerte liderazgo con el compromiso y energía de la base”.

3.2. Determinación del nivel Sigma en Mantenimiento.

Calcular el nivel de sigmas para la mayoría de los procesos es bastante fácil. Dado un determinado producto o servicio, se determina los factores críticos de calidad (FCC), luego se multiplica estos por la cantidad de artículos producidos obteniéndose el total de defectos factibles (TDF) (oportunidades de fallos). Si dividimos los fallos detectados (con los distintos sistemas de medición en función del tipo de bien o servicio) por el total de defectos factibles (TDF) y luego lo multiplicamos por un millón obtenemos los defectos por millón de oportunidades (DPMU). Luego revisando la tabla de sigma se tienen los niveles de sigma.

Los factores críticos de calidad pueden ser determinados tanto por los clientes internos como externos, y serán aplicados a las distintas etapas de los diversos procesos.

En cuanto a la metodología de medición, ésta se efectuará por muestreo internos (mediciones) o mediante requisitoria (cuestionario) para la totalidad o parte de los consumidores.

4. Método de Resolución de Problemas. DMAIC

Se ha desarrollado como sistema para la resolución de problemas el método DMAIC (Definition, Measurement, Análisis, Improvement, Control) Este método es llevado a la práctica por grupos especialmente formados a los efectos de dar solución a los diversos problemas u objetivos de la compañía. Las claves del DMAMC se encuentran en:

- **Medir el problema.** Siempre es menester tener una clara noción de los defectos que se están produciendo en cantidades y expresados también en valores monetarios.
- **Enfocarse en el cliente.** Las necesidades y requerimientos del cliente son fundamentales, y ello debe tenerse siempre debidamente en consideración.
- **Verificar la causa raíz.** Es menester llegar hasta la razón fundamental o raíz, evitando quedarse sólo en los síntomas.
- **Romper con los malos hábitos.** Un cambio de verdad requiere soluciones creativas.
- **Gestionar los riesgos.** El probar y perfeccionar las soluciones es una parte esencial de la disciplina Six Sigma.
- **Medir los resultados.** El seguimiento de cualquier solución es verificar su impacto real.
- **Sostener el cambio.** La clave final es lograr que el cambio perdure.

Las fases del DMAIC son las siguientes:

- **Definir.** El objetivo de esta fase es concretar todos los elementos relativos al proyecto: Debe definirse claramente en que problema se ha de trabajar, ¿por qué se trabaja en ese problema en particular? , ¿Quién es el cliente? , ¿Cuáles son los requerimientos del cliente?, ¿cómo se lleva a cabo el trabajo en la actualidad?, ¿cuáles son los beneficios de realizar una mejora? Siempre debe tenerse en cuenta que definir correctamente un problema implica tener un 50% de su solución. Un problema mal definido llevará a desarrollar soluciones para falsos problemas.

- **Medir.** El objetivo de la fase medir es doble. Por una parte, se trata de identificar y seleccionar las variables del proceso que condicionan su resultado y por otra de evaluar el rendimiento actual del proceso, utilizando para ello datos válidos. Esta es una información crítica para refinar y completar el desarrollo del plan de mejora. Nos permiten y facilitan

identificar las causas reales del problema. El conocimiento de estadística se hace fundamental. “La calidad no se mejora, a no ser que se la mida”.

- **Analizar.** El objetivo final de esta fase es identificar cuáles son las variables (causas) que determinan el funcionamiento del proceso y su rendimiento. Esta fase es la que más se apoya en los métodos estadísticos. Las herramientas de análisis deben emplearse para determinar dónde estamos, no para justificar los errores.

- **Mejorar.** El objetivo de la fase mejorar es introducir en el proceso los cambios necesarios para conseguir mejorar sustancialmente su rendimiento. En esta fase de diseño es muy importante la actividad de benchmarking a los efectos de detectar en otras unidades de la misma empresa o en otras empresas (competidoras o no) formas más efectivas de llevar a cabo un proceso. En esta etapa asume una preponderancia fundamental la participación de todos los participantes del proceso, como así también la capacidad creativa.

- **Controlar.** Establecer un método de control del proceso que permita asegurar los resultados obtenidos y mantenerlos en el tiempo. Es necesario confirmar los resultados de las mejoras realizadas. Debe por tanto definirse claramente unos indicadores que permitan visualizar la evolución del proyecto. Los indicadores son necesarios pues no podemos basar nuestras decisiones en la simple intuición. Los indicadores nos mostrarán los puntos problemáticos de nuestro proceso y nos ayudarán a caracterizar, comprender y confirmar nuestros procesos. Mediante el control de resultados lograremos saber si estamos cubriendo las necesidades y expectativas.

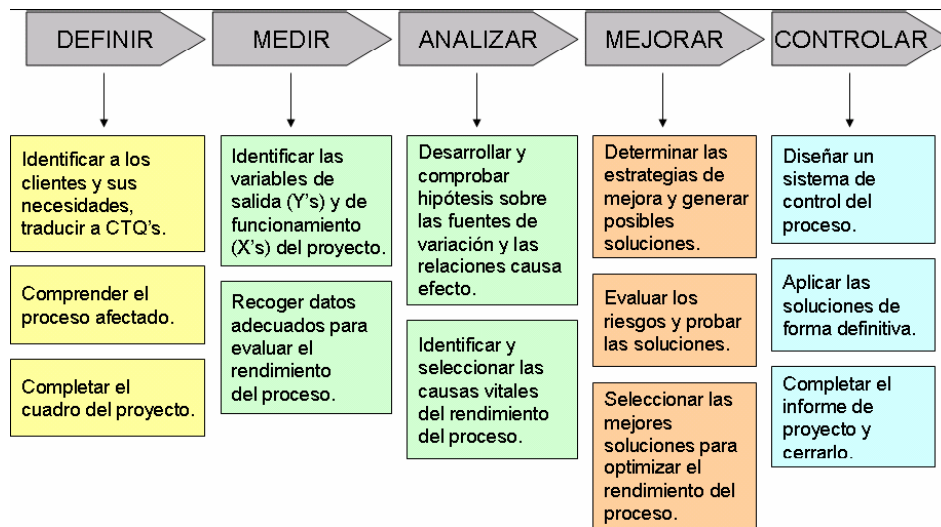


Figura 2. Esquema General DMAIC.

Para comprender la metodología Seis Sigma es necesario conocer y manejar algunos conceptos y términos que se utilizan en los proyectos.

- CTQ's o críticos para la calidad. Corresponde a aquellas características del producto o servicio que son claves para el cliente y, por tanto, para su satisfacción. Son los requisitos que ha de cumplir el proceso para satisfacer al cliente.
- Yos, efectos o variables del resultado. Son las medidas que se utilizan para evaluar el funcionamiento del proceso y su grado de cumplimiento con los requisitos.
- X's, causas o variables del proceso. Son aquellas variables ligadas al funcionamiento o a las entradas del proceso, de las que depende su resultado.
- $Y = f(X's)$, es la expresión por la cual se pretende señalar que el resultado final de un proceso viene determinado por sus variables de entrada o de funcionamiento.

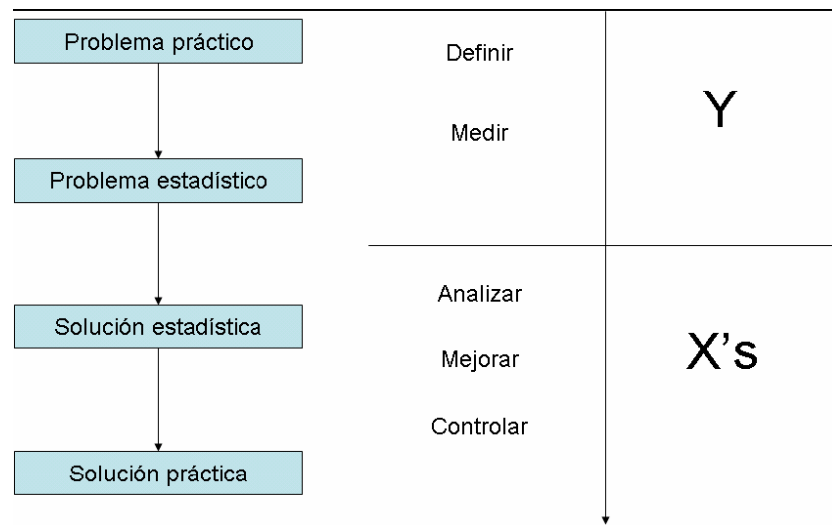


Figura 3. CTQ's del proceso.

4.1 DEFINIR.

Los objetivos de la fase definir consisten en:

- Definir el problema.
- Conocer los clientes y sus necesidades
- Seleccionar los requisitos del proceso (CTQ's)
- Comprender el proceso, sus límites y el alcance del proyecto.

4.1.1. Definir el problema.

El problema se selecciona según las políticas de la organización, el grupo de trabajo, jefe encargado y a los resultados de la actividad que se trate.

Los criterios para seleccionar el problema debe seguir el siguiente orden de prioridades; Seguridad, calidad, costo, entrega y nivel de servicio.

Se debe explicar porqué se selecciono el problema, por ejemplo, monto de perdidas, incremento del tiempo de operación paro de la línea, costo de falla, baja eficiencia, etc...

4.1.2. Clientes y sus necesidades.

Evaluar la voz del cliente (VOC) significa buscar una retroalimentación o reunir la información ya existente de los clientes para determinar qué tanto el producto y/o servicio satisface sus necesidades. La VOC refleja las verdaderas necesidades del cliente, las cuales pueden ser convertidas en un producto determinado o servicio requerido.

Dichos requerimientos deben estar o presentarse en forma tan conveniente que aseguren alcanzar la satisfacción del cliente. Al plantear el proyecto en términos de CTQ's o requerimientos reales del cliente, en lugar de suponer las necesidades del consumidor se podrá asegurar que su equipo esté trabajando para resolver problemas que son importantes.

La selección de las necesidades claves de los clientes (CTQ's) puede abordarse como un proceso con tres etapas:

1. Identificar quiénes son los clientes del proyecto, y en caso de ser necesario priorizar dichos clientes en función de su importancia para la empresa.
2. Investigar a los clientes para conocer cuáles son sus necesidades ante el proyecto y, caso de ser necesario, priorizar dichas necesidades en función de su importancia relativa para los clientes y de la importancia del cliente para la empresa.
3. Traducir las necesidades más importantes desde los términos expresados por el cliente hasta otros adecuados para el proyecto.

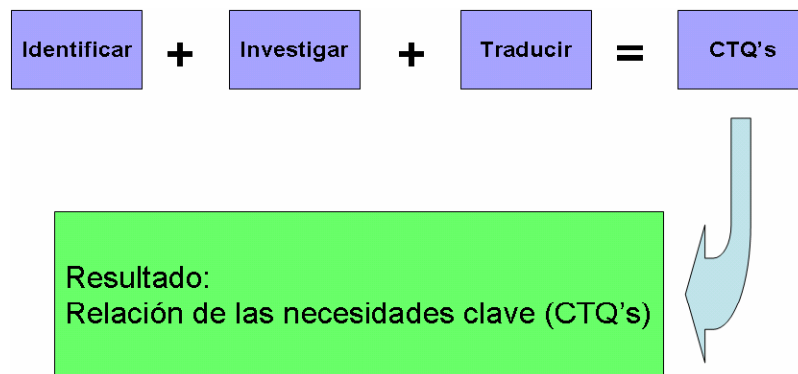


Figura 4. Necesidades del Cliente.

A continuación desarrollaremos con detalle cada uno de estos pasos teniendo en cuenta que dependiendo del proyecto, la intensidad y dedicación necesaria para seleccionar el o los CTQ's del proyecto pueden ser diferentes.

1. Identificar los clientes. De forma general podemos identificar dos tipos de clientes:

- Clientes que compran y/o utilizan los productos o servicios, que pueden ser externos o internos.
- Personas o grupos, que afectan o son afectadas por el proceso que pueden ser externos o internos. Es importante identificar todos los posibles clientes y las partes interesadas o afectadas, aunque no todos ellos tengan la misma importancia a la hora de priorizar los CTQ's.

2. Investigar a los clientes. Se plantean tres tipos de necesidades de los clientes:

- Debe satisfacer siempre. Si el producto o servicio pierde prestaciones nos encontraremos ante un cliente molesto y si el producto o servicio

tiene las prestaciones adecuadas éste no mostrará especial satisfacción ya que es lo que espera de dicho producto o servicio.

- Unidimensional: corresponde a cualidades que el cliente puede graduar, su posible satisfacción o insatisfacción será proporcional a la cantidad de prestaciones del producto o servicio.
- Encantadores: corresponde a aspectos o características del producto o servicio que el cliente no espera y por tanto su menor prestación no genera insatisfacción por parte del cliente.

En un proceso normal en la investigación del cliente parte con poca o con ninguna información y se va completando inicialmente mediante observación y escucha al cliente obteniendo datos cualitativos sobre las necesidades.

También es importante conocer cómo se comportan la competencia con los clientes, saber como cubren las necesidades de estos.

3. Seleccionar los requisitos del proceso (CTQ's)

El lenguaje del cliente es también conocido como Voz del Cliente (VOC), por lo tanto es necesario llevar a cabo una traducción tomando las palabras dichas por el cliente y determinando los aspectos clave en dichas palabras, una vez determinados planteamos estos aspectos clave en términos medibles.

Pasos en los procesos de traducción:

- Identificar los aspectos clave: comenzar con las citas directas de los clientes, tomar textualmente los comentarios de la Voz del Cliente y agruparlos en temas o por categorías utilizando un diagrama de afinidad no intentando forzar comentarios en una categoría si no encajan.

- Escribir los CTQ's a partir de los aspectos clave: documentar las necesidades del cliente que son representadas por los aspectos clave.
- Usar un diagrama de árbol para asegurar que las necesidades de los clientes se establecen como requisitos medibles y específicos comprendidos por el cliente y por el equipo.

Sé traducirá los diferentes tipos de retroalimentación del cliente en requerimientos de rendimiento medible y específico.

El resultado de dicha traducción es una lista de necesidades específicas expresadas en un lenguaje que es entendido por usted y su cliente. Usted debe completar este proceso de manera muy precisa para comprender exactamente lo que es necesario para satisfacer al cliente.

Los CTQs pueden ser:

CTQ1 Requerimientos de empaque o formato de datos

CTQ2 Requerimientos de costos o valor

CTQ3 Requerimientos de fecha de entrega

CTQ4 Requerimientos de documentación

CTQ5 Niveles de calidad o cumplimiento frente a una norma o estándar

Las necesidades de los clientes se colocaran en orden de importancia desde el punto de vista de él mismo. Deben ser ponderados y organizados de mayor a menor de acuerdo con esa puntuación.

4.1.3. Mapa del proceso

En el mapa de proceso se identifican los proveedores, insumos, producto final y clientes, y entonces crea un cuadro cronológico que señala los cuatro o cinco pasos, eventos y operaciones en el proceso, más significativos.

El propósito de desarrollar un mapa es orientar el proceso que es necesario mejorar para cumplir con las necesidades del cliente..

Para construir el mapa se pueden tener en cuenta las siguientes reglas generales:

- Construir el mapa que refleja el proceso tal y como funciona normalmente
- Dividir el proceso en un nivel macro, es decir, 4 – 7 pasos clave.
- Listar las salidas del proceso.
- Listar los clientes.
- Listar las entradas.
- Listar los proveedores del proceso.

Este modelo es aplicable a organizaciones de producción y servicios. Ambas toman entradas de sus proveedores, añaden valor durante el proceso y proporcionan salidas que, como mínimo, cumplen con las necesidades del cliente (CTQ's). Las necesidades del cliente y la salida del proceso son lo mismo. El concepto anterior supone que los pasos de un proceso añaden valor para el cliente, sin embargo algunas etapas del proceso no añaden valor ni al cliente ni al negocio. Debido a estas posibles situaciones es crítico representar las actividades del proceso tal como son, para ser precisos y evitar la forma en que debieran ser.

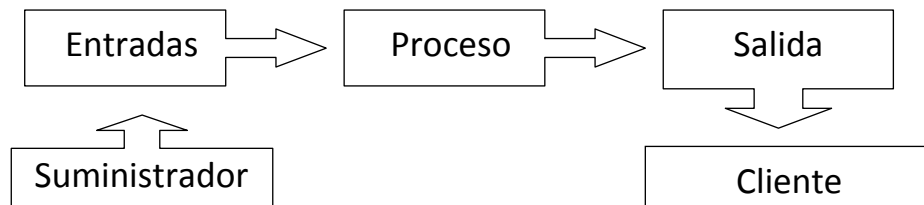


Figura 5. Definición del proceso.

El mapa de proceso es una representación gráfica de las etapas, pasos o sucesos y operaciones que constituyen un proceso. Los beneficios a obtener de esta herramienta son los siguientes:

- Es una estructura para comprender un proceso complejo, de forma simple y visible.
- Permite ver el proceso completo.
- Permite apreciar los efectos que pueden tener los cambios en el proceso completo a través de la línea de flujo.
- Revela las tareas o pasos que no añaden valor.
- Permite identificar los ciclos de tiempo en cada paso del proyecto.

Establecer los límites del proceso es un paso crucial en la representación del mapa. Definiendo estos límites el equipo puede comprender mejor los pasos o tareas que constituyen el proceso.

Cuando el equipo comienza a analizar el proceso, se apoya en cómo debiera ser el proceso. En este momento es necesario preguntarse cómo se pueden cumplir, o incluso exceder, los requisitos del cliente.

El objetivo de la fase Definir es concentrarse en la versión del mapa de proceso de “cómo es”. La eficacia y eficiencia de las fases Medir y Analizar dependen de la precisión con que se haya representado el mapa del proceso.

4.1.4. Desarrollo del Cuadro del proyecto

El cuadro de proyecto es en esencia un documento formalizado que recoge la información básica que se necesita para comenzar el proyecto.

El cuadro de proyecto no es un documento fijo. Con independencia del título de un proyecto, todos los demás elementos pueden evolucionar a lo largo del proyecto.

Como ya hemos comentado es casi seguro que a lo largo del proyecto el beneficio económico vaya cambiando. La necesidad de estos cambios viene ocasionado por el mayor conocimiento de los datos en la fase de medir, por la selección de las causas en las que se va a centrar el proyecto de la fase de Analizar o por el conocimiento de las posibles acciones de mejora y su coste asociado en la fase de mejorar.

El beneficio económico estimado puede tener diversos orígenes, si las fuentes de los beneficios son tangibles son:

- Aumento de beneficio por mayor capacidad.
- Aumento de beneficio por mejora de la calidad y los procesos.
- Aumento de beneficio por ahorro neto por mejora del precio.
- Aumento de beneficio por aumento de intereses.
- Disminución de costes por trabajo.
- Disminución de costes por gastos de operación.
- Disminución de costes por depreciación de equipos.
- Disminución de costes por costes de garantía.
- Disminución de costes por gastos de intereses.
- Disminución de costes por descuentos en precios.
- Mejora del cash-flow por reducción de equipos e inventarios.

Fases en la elaboración del cuadro:

a. Declaración de Problema: Este es conciso (2-3 operaciones) y enfocada a la descripción de “que está mal” bien sea del malestar que surge del problema o la oportunidad que este necesita de ser tratado o dirigido. Los elementos a tratar son:

- 1) ¿Cuál es el problema?
- 2) ¿Cuándo y bajo qué condiciones ocurre el problema?
- 3) ¿Dónde ocurre el problema?
- 4) ¿Cuál es la magnitud del problema?
- 5) ¿Cuál es el impacto del problema?

b. El enfoque del Proyecto: Este debe establecer el “eje” y los límites del proyecto para el buen desarrollo del proceso con su equipo de trabajo.

c. Declaración de Metas: La declaración de metas idealmente debe complementar la declaración del problema. Los tres elementos que debe incluir son:

- 1) Una descripción de los logros a realizar.: Comience la declaración de metas con un “verbo”.
- 2) Un objetivo medido de los resultados deseados.: Este debe estar cuantificado en números o porcentajes reales.
- 3) Una fecha límite y/o cronograma para la finalización del proyecto.

d. Creación del equipo de trabajo: Haga un listado de las personas con sus cargos que deben pertenecer al equipo que trabajará en la solución del proyecto, selecciónelos con base en su aporte real al proyecto.

El equipo debe, desde el inicio, establecer objetivos y fechas para llevar a cabo todas las fases del proyecto. Los hitos proporcionan un sentido de urgencia para desarrollar las actividades y asegura que los resultados se

obtendrán en el tiempo debido. Como mínimo el equipo debe establecer fechas para las revisiones, al final de cada fase para revisar los logros y analizar los aspectos necesarios para seguir adelante.

El equipo debe incluir como núcleo a las personas que intervienen en el proceso que se va a mejorar. Los miembros núcleo están implicados en el día a día del proyecto dedicando una parte de su tiempo.

Además de los miembros núcleo se pueden identificar especialistas que pueden ser necesarios como recursos esporádicos dados sus conocimientos y experiencia. Es necesario identificar la necesidad de estos especialistas y definir su papel, compromiso y responsabilidades en el proyecto.

f. Plan del proyecto preliminar: Para lograr nuestras metas y ver resultados en la fecha estipulada, el equipo tendrá que trabajar agresiva y rápidamente. Finalizar el proyecto es el mayor desafío para el equipo, pero también es importante concluir cada una de las fases dentro del programa propuesto

Fase	Objetivos	Enfoque	Herramientas
Definir	Identificar a los clientes y sus necesidades. Traducir a CTQ's.	<p>Identificar clientes: externos y internos.</p> <p>Identificar y priorizar las necesidades y metas de los clientes.</p> <p>Traducir las necesidades de los clientes a los CTQ's del proceso.</p> <p>Definir el alcance del proyecto.</p> <p>Identificar el costo del defecto/beneficio a reducir.</p>	<p>Al finalizar esta fase, se debe tener realizado:</p> <p>La frase de Declaración del Proyecto.</p> <p>El Mapa SIPOC.</p> <p>El Diagrama del Proceso.</p> <p>En esta etapa generalmente es útil:</p> <p>Entrevistar al cliente.</p> <p>Hacer diagramas de Afinidad.</p> <p>Diagramas Genealógicos.</p>
	Comprender el proceso afectado	<p>En qué proceso se va basar el proyecto.</p> <p>Cómo funciona ese proceso hoy en día.</p> <p>De qué manera el proceso se relaciona con los CTQs.</p> <p>Algunos ajustes que requieren implementación rápida (acciones inmediatas necesarias).</p>	
	Completar el cuadro de proyecto	<p>Revisar y actualizar el cuadro de proyecto.</p> <p>Identificar los recursos implicado y el plan de trabajo</p>	

Figura 6. Esquema general Definir.

4.2. MEDIR

Este paso puede ser muy útil para el equipo de trabajo, en el establecimiento de la información clave requerida y las responsabilidades durante las reuniones, para crear comprensión sobre el problema.

Las mediciones deben ser aplicadas en las tres fases del proceso, es decir, en las entradas (insumos, materia prima), en el proceso mismo (etapas, modelos) y en las salidas (producto final). Realmente la idea de este análisis inicial es lograr la selección adecuada del proyecto (Y), y asegurarse que el enfoque del proyecto es manejable. A menudo se utiliza la letra “Y” para significar las medidas de la salida del proceso, que se llamarán “Y’os del proyecto”.

Las mediciones del proyecto son internas, e incluyen los puntos clave que gobiernan el funcionamiento y los resultados del proceso. Las mediciones del proceso más significativas están correlacionadas con las medidas de su salida (Y). El símbolo para las medidas del proceso es “X”.

Las mediciones en la entrada determinan el cumplimiento, por parte de los suministradores de los CTQ’s del proceso, como cliente. Estas medidas no solo indican el rendimiento del suministrador, sino que también están relacionadas con las medidas de la salida (Y), por ello también se representan como “X”.

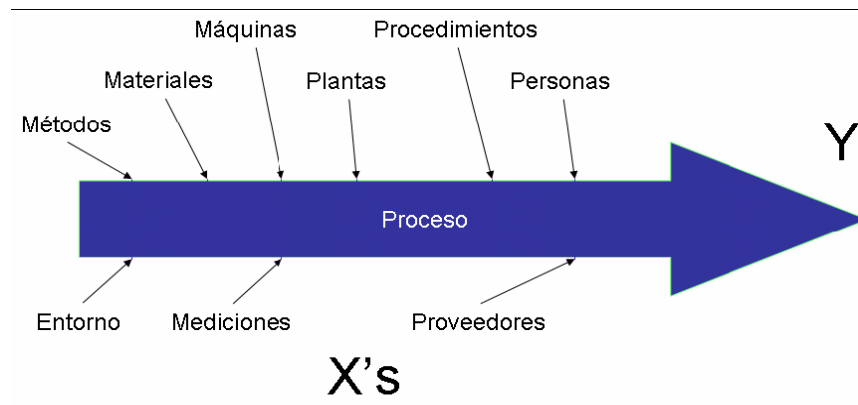


Figura 7. X's del proceso.

4.2.1. Estándares de rendimiento para el proyecto.

La información importante relacionada con el rendimiento normalmente viene del cliente así como una variedad de otras fuentes internas y externas. Su proyecto de CTQs, identificado por el cliente durante la fase “Definir”, debe especificar los niveles de rendimiento de su producto o servicio de acuerdo con las expectativas del cliente.

Las variables independientes (X's) son las variables de la entrada y de funcionamiento del proceso que determinan el rendimiento de las variables dependientes. Cuando se miden y se siguen los datos de las variables independientes apropiadas se puede predecir el valor de las variables dependientes (Yos). Estas variables son las medidas de las salidas del proceso, las que habitualmente se utilizan para controlar el proceso evaluando su rendimiento.

Describir una variación es el primer paso para reducirla. El siguiente paso es investigar las causas que provocan esta variación. Existen dos clases de fuentes fundamentales de variación que se asocian a dos tipos de causas:

- Causas Comunes que son de tipo aleatorio, las causas de variación son inherentes al funcionamiento del proceso y siempre están presentes, son las conocidas como causas comunes. Si un proceso muestra causas comunes de variación, la acción apropiada es investigar todos los datos.
- Causas especiales que no pertenecen al proceso y se presentan esporádicamente, pudiendo desaparecer. Si en un proceso se muestran las causas de variación especiales, la acción apropiada es investigar los datos específicos relacionados con la aparición de la causa especial. En muchos casos la investigación revelará los factores más importantes (X's) relacionados con las causas especiales. Los resultados de la investigación han de ser traducidos en acciones para contrarrestar las causas especiales.

Lo más importante es conocer las fuentes de variación y tratarlas de acuerdo con la estrategia apropiada. No reaccionar adecuadamente a cada tipo de variación presente en el proceso puede tener un impacto negativo en la satisfacción del cliente y en la cantidad de defectos, incrementando los costes. Una apropiada reacción ante las causas de variación del proceso proporciona un equilibrio entre emplear sobrados y escasos esfuerzos ante las variaciones que actúan en el proceso.

Existen sendos tipos de datos:

- Discretos o atributos (datos que proporcionan o que reflejan una categoría)
- Continuos o variables (datos que indican o hacen referencia a una cantidad, es decir, responden a la pregunta “cuánto”).

CAUSAS COMUNES vs. CAUSAS ESPECIALES

Tipo de variación	Definición	Características
Causa común (Objetivo de 6σ)	Justificada	Esperada Predecible Normal Aleatoria
Causa especial (Fuera del objetivo de 6σ)	Injustificada	Inesperada Impredecible Anormal No aleatoria

Figura 8. Causas comunes y especiales.

Los datos discretos o atributos permiten observaciones en un número limitado de clases. Con estos datos se pueden elaborar gráficos de barras o de sectores y también pueden ser utilizado para estratificación y/o análisis de Pareto.

Los datos continuos o variables son valores de las medidas actuales, estos datos pueden ser utilizados para elaborar gráficos lineales, histogramas, diagramas de dispersión, box-plots. Hay que tener en cuenta que mucha información es inherentemente discreta, pero una buena práctica es recoger datos continuos siempre que esto sea posible.

4.2.2. Proceso de selección de las Y's del proyecto

Los productos finales han de cumplir con unos requisitos que están orientados a satisfacer las necesidades del cliente CTQ's. Dicha salida del proceso tiene una serie de características y/o atributos que permiten evaluar

en qué medida se está cumpliendo con los requisitos. Estas características pueden ser de tipo físico o estético,

Una producto final del proceso puede tener muchas características pero, sin duda, pocas de ellas estarán relacionadas con las necesidades del cliente o CTQ's. El objetivo de esta actividad es identificar y seleccionar cuáles de las características de la salida permiten evaluar el cumplimiento del proceso con respecto a los CTQ's.

El concepto de “Defecto” hace referencia a aquella característica de la salida que no cumple o satisface los requisitos del cliente, en general todo defecto va asociado a una Y o incluso a Yos.

Los criterios importantes para dar prioridad y seleccionar su proyecto (Y) son:

- Debe ser medible.
- Debe estar unido al CTQ.
- Debe ser una medida directa del proceso.
- Canalizar problemas de alto índice de defecto.
- El volumen del producto o del proceso es lo suficientemente extenso para garantizar una mejora del proyecto.
- El costo de la pérdida debería ser lo suficientemente alto para garantizar el proyecto.
- Si su CTQ se basa en el tiempo la (Y) debe dar relevancia a la porción substancial de su
- ciclo de proceso.
- Debe ser relativamente fácil reunir información para obtener valores de y en función de (Y).
- La información continua es preferible a la información discontinua.

Para llevar a cabo la primera medición se debe apreciar la importancia de los problemas de funcionamiento de proceso, según se haya definido en el cuadro de proyecto. Las herramientas más usuales utilizadas son:

- **Estratificación:** es la clasificación de datos en categorías. Su uso más frecuente se produce durante las fases de Medir y Analizar, para identificar qué causas o categorías contribuyen al problema. La estratificación por sí misma no permite comprobar las teorías, sin embargo la organización previa de los datos en categorías si facilita su posterior estudio y análisis, ya sea gráfico o estadístico. Su utilización es especialmente útil cuando los datos no parecen responder a una lógica basada en la experiencia.
- **Diagrama de Pareto:** representación gráfica de los datos, en forma de gráfico de barras, ordenadas por la frecuencia o importancia de los mismos. Permite poner de relieve la “concentración” de datos en alguno de los estratos o grupos y concretar el problema en estudio.
- **Gráficos de series temporales:** es una representación gráfica de los datos, en forma de gráfico lineal, ordenados de acuerdo con el momento en que se han producido los sucesos correspondientes. Permite poner de relieve la tendencia de los datos y ver posibles ciclos temporales que ayuden a concretar el problema en estudio, en este caso el factor de estratificación es el tiempo y nos va a determinar la relación existente (si la hay) entre los defectos y cuándo se producen.

4.2.3. Proceso de selección de las X's del proyecto.

Las características de las salidas del proceso (Yos) están condicionadas por tipos de elementos o factores, unos relacionados con las entradas y otros con los parámetros o elementos del proceso. Estos procesos están concebidos para transformar unas entradas que tienen unas condiciones o características (X's) determinadas. Si estas entradas no cumplen con dichas

características o condiciones, nuestro proceso no podrá conseguir las Yos deseadas, se producirá una variación mayor de la establecida o se producirá un defecto en la salida del proceso.

Con independencia de las entradas, los propios elementos de funcionamiento del proceso también pueden contribuir a la mayor variación en las Yos o a producir salidas con defecto.

El proceso de selección de las X's tiene tres etapas,

- identificar todas las fuentes posibles de variabilidad de las entradas (Xs) y de funcionamiento que puedan afectar a la variación de las Yos o a la obtención de las Yos defectuosas. Para ello, además de la información disponible a través de los datos que se han utilizado en las primeras mediciones de las Yos antes comentadas, se utilizan una serie de herramientas.
- Reducción, se trata de utilizar el conocimiento adquirido sobre el funcionamiento del proceso para seleccionar las X's vitales o, dicho en otras palabras, para eliminar aquellas X's que, siendo posibles, no parecen que sean las que están originando la variación de las Yos o sus defectos. Se trata así de un acercamiento más organizado para investigar cuáles (X) se afectan la variable de su producto (Y).
- Cierre, se trata de recoger datos sobre las X's más probables para eliminar aquellas X's que, siendo posibles, no parecen que sean las que están originando la variación o los defectos.

En función del proceso afectado, del conocimiento sobre su funcionamiento y, sobre todo, de los datos recogidos en las primeras mediciones de las Yos,

es posible que la identificación y la selección de las X's sea una tarea sencilla (X's evidentes) o que se deban aplicar las tres etapas de selección.

En la medida en que se hayan estratificado los datos sobre las Y's, las posibles causas de variación o las que originan las diferencias entre los distintos grupos o estratos estudiados, van a ser más concretas. Un primer estudio para identificar las distintas variables o causas que pueden afectar a las Y's se centra en el mapa de proceso realizado en la fase Definir. En esta fase se realizó un mapa global, tipo macro, del funcionamiento del proceso. Ahora, paso a paso, se trata de profundizar en un nivel de detalle superior, para identificar aquellas actividades o tareas que pueden contribuir a la variación de la Y o a que dicha Y no cumpla con los requisitos del cliente y, a partir de este detalle, comenzar a seleccionar las posibles variables o causas que afectan a las salidas del proceso. Es posible que, al realizar este análisis, algunos de los pasos del mapa inicial no afecten a las Y's en estudio. En estos casos no será necesario profundizar en las tareas o actividades de este paso.

4.2.4. Herramientas básicas para la fase de Medición.

En el análisis de funcionamiento de los procesos se utilizan diferentes técnicas o tipos de análisis:

- Análisis funcional trata de estudiar cómo los pasos y tareas contribuyen a que la salida del proceso y cumpla con los requisitos correspondientes, permite identificar tareas que no son necesarias para que la salida cumpla con sus requisitos. El análisis funcional es un método general de análisis de los procesos que parte del mapa del proceso y de las características o funciones de la salida. En su aplicación en los proyectos Seis Sigma, se centra en las características de la salida del proceso que afectan los requisitos del cliente (Y's) y trata de evaluar cómo contribuye

cada paso del proceso a conseguir dichas características, se trata de centrar el análisis en aquellos pasos que, realmente, configuran alguna de las Ys en estudio y evitar la dispersión del análisis. Los pasos que se muestren como contribuyentes a las Ys del proyecto deberán ser objeto de un estudio más detallado, mediante el diagrama de flujo, llegando hasta el nivel de detalle que sea necesario para identificar qué variables o parámetros pueden afectar a la variación o resultado de las Ys.

- Análisis de valor añadido, complementario del anterior, además de identificar tareas que no añaden valor al resultado final del proceso, permite estimar los costes de las que si añaden valor para verificar si pueden ser reducidos. El análisis de valor añadido es generalmente complementario al funcional y se realizan muchas veces simultáneamente. En su aplicación en los proyectos Seis Sigma parte de aquellos pasos que contribuyen a la Ys y también trata de estimar el coste de las tareas, facilitando la identificación de oportunidades de reducir la actividad, y sus costes sin que el resultado final del proceso se vea afectado.
- Las técnicas de análisis de tiempo se aplican cuando la Y en estudio está relacionada con la duración del proceso, para identificar donde es más lento o se detiene el proceso. Se parte de una Y que está relacionada con la duración total del proceso o tiempo de ciclo. Tiene como objeto medir o estimar la duración de cada uno de los pasos del proceso descritos en el mapa, para seleccionar en función de los resultados los pasos del proceso que consumen la mayor parte del tiempo.
- El análisis de cargas trata de identificar desajustes entre la demanda o carga del proceso y su capacidad de producción para identificar si existen ineficiencias.
- El análisis del modo de fallo y efecto (AMFE) se utiliza cuando la Y en estudio está relacionada con fallos o errores en las tareas. También se utiliza para priorizar las posibles causas de éstos. La aplicación de las

herramientas anteriores es posible que se hayan identificado algunas causas que, en principio, son las que puedan estar originando el efecto o que se disponga de una relación exhaustiva de las posibles causas.

- La matriz de priorización de causas o matriz Y – X se utiliza cuando la salida del proceso que se va a mejorar tiene varias características o Ys aunque solamente alguna de ellas sea objeto del proyecto de mejora. No podemos aislar una sola Y ya que si lo hacemos podemos afectar negativamente al resto. El objetivo de esta matriz es reducir la cantidad de posibles causas para concentrar el esfuerzo de recogida de datos en aquellas que son más probables, es decir, en las que parece afectar en menor medida al resultado del proceso.

4.2.5. Conceptos estadísticos. Datos cuantitativos.

La mayoría de los procesos productivos siguen una distribución normal, con una distribución de frecuencias siguiendo la campana de Gauss y con una probabilidad de que algunos valores queden fuera de los límites superiores e inferiores; esta probabilidad es lo que entendemos por “probabilidad de defecto”.

Nuestro proceso será tanto más fiable cuanto más centrada respecto a los límites y cuanto más estrecha y alta sea la campana. Una campana achatada y descentrada es consecuencia de grandes probabilidades defectos. De forma gráfica el área de la campana de Gauss que queda fuera de la zona marcada por los límites superior e inferior es precisamente la probabilidad de defecto.

En las tablas de distribución Normal encontraremos precisamente una relación entre esta área y la distancia Z definida como:

$$Z = (x - X) / \sigma$$

Siendo Z el “valor sigma”; X la media y σ la desviación típica.

La relación entre la “probabilidad de defecto” (área de la curva de Gauss que queda fuera de uno de los límites superior o inferior) y Z (distancia desde el valor medio a este límite) para una

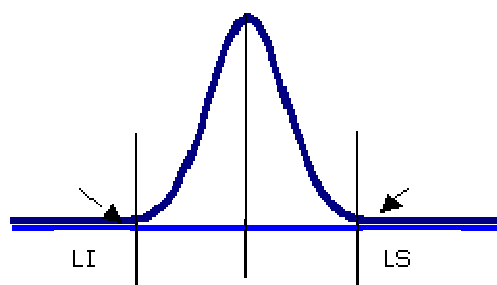


Figura 9. Distribución normal.

El número Z es lo que en Six Sigma denominamos “valor sigma” cuando únicamente tenemos un límite superior, como es el caso de la figura.

Cada una de las herramientas de aplicación de esta metodología tiene ligeras diferencias en su concepto, fortalezas, debilidades y aplicaciones. Algunas de estas diferencias se basan en los diferentes requisitos de los datos. Estas herramientas guardan relación con cada tipo de datos, en función de que sean discretos o continuos.

Los datos discretos permiten observaciones en un número ilimitado de clases. Con estos gráficos se pueden elaborar gráficos, analizar la distribución de la frecuencia con que se presentan y su utilización para estratificar y realizar análisis de Pareto.

Los datos continuos son valores de las medidas actuales, como la cantidad de tiempo para terminar una tarea o un valor económico. Los datos

continuos tienen mayor utilización que los discretos, más herramientas para su tratamiento y además es posible estructurarla en clases como si fueran discretos.

Mucha información es inherentemente discreta, sin embargo, una buena práctica es recoger datos continuos cuando sea posible. En ocasiones la gran cantidad de datos de los que disponemos exige un análisis resumido de los mismos. La parte de la estadística encargada de abordarlo es la estadística descriptiva, a través de la cual se describen los datos para poder obtener conclusiones sobre el hecho que están midiendo. Los conceptos utilizados son la tendencia central (diferencia de los datos sobre sus valores centrales) y la dispersión (cómo están distribuidos estos datos). Ambos conceptos se aplican a las distribuciones de datos continuos como a los discretos. En los datos discretos contaremos cuántas veces se produce cada clase o grupo de datos y aplicaremos los conceptos de tendencia central y dispersión a la distribución de la frecuencia con que se producen.

La estadística proporciona diferentes medidas de la tendencia central de los datos con sus diferentes utilidades, las más utilizados son la media, la mediana y la moda. En la dispersión, el rango o recorrido, solamente tienen en cuenta los valores extremos, es decir, el mayor y el menor del conjunto de datos. La varianza y la desviación típica se ven menos afectados por los valores extremos. Una vez conocido el proceso se seleccionará el valor más adecuado para sus propósitos.

4.2.6. Gráficos y diagramas

Los gráficos y los diagramas son representaciones visuales de datos cuantitativos. Resumen gran cantidad de información en un espacio pequeño y comunican situaciones complejas con precisión. Cada tipo de gráfico tiene una utilidad específica y unas ventajas concretas:

- Los gráficos de líneas son útiles para mostrar la variación de los datos a lo largo del tiempo.
- Los gráficos de barras son útiles para mostrar la diferente proporción o cantidad de datos entre distintos grupos o categorías.
- Los gráficos de sectores son similares a los de barras y se suelen utilizar para mostrar cómo los datos totales se reparten entre las diferentes categorías o grupos.
- Los histogramas muestran pautas de variación de los datos continuos que, a veces, son difíciles de ver en la serie de datos expresados como números.
- Los gráficos de cajas también muestran pautas de variación, pero se utilizan con menos cantidad de datos que los histogramas y, generalmente, para comparar las pautas de variación de los diferentes grupos.

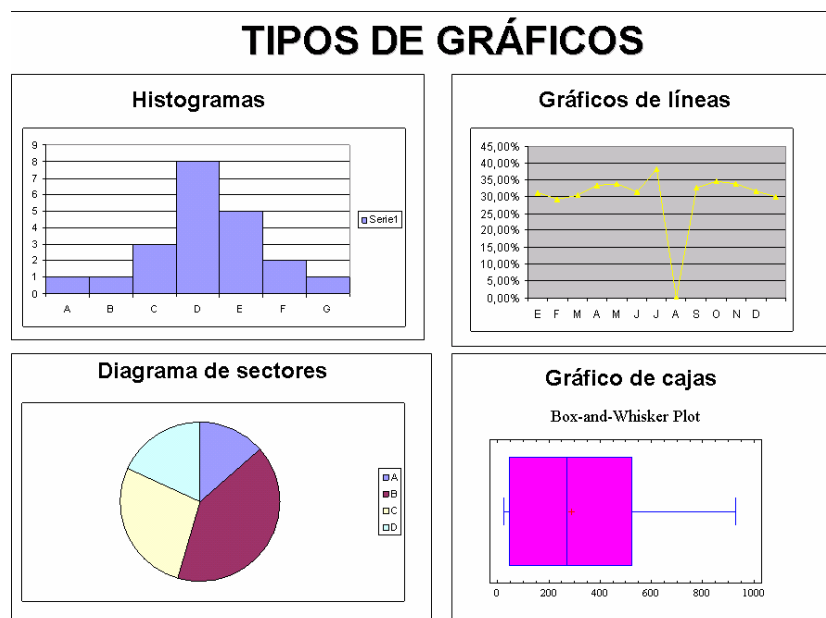


Figura 10. Tipos de Gráficos.

Las características que deben cumplir los gráficos y diagramas son las siguientes:

- Integridad visual. Un gráfico debe ser fiel a la realidad y la escala tiene que ser como mucho 5 veces superior a la variabilidad de los datos.
- Escala coherente. Las escalas numéricas deben mantener intervalos regulares, los distintos gráficos que podrían ser comparados entre sí deben dibujarse todos a la misma escala.
- Facilidad de lectura. La comprensión de un gráfico y lo que se recuerda de él dependen de lo fácil que resulte de leer. Es posible utilizar textos para aumentar la claridad si son colocados cerca del objeto que identifican.
- Coherencia de los símbolos. Cuando debemos comparar dos o más gráficos es importante mantener la coherencia en las dimensiones de medida para minimizar la confusión al interpretar los gráficos.
- Sencillez. Antes de añadir texto debemos valorar si aportan información adicional relevante.

4.2.7. Probabilidad.

La probabilidad se calcula como el cociente entre los casos favorables y los casos posibles. La probabilidad de dos sucesos independientes es la suma de las probabilidades de cada suceso.

La distribución de probabilidad en la mayor parte de los fenómenos naturales responde a una ley normal, según esta ley la probabilidad de un valor dado en un conjunto de valores depende de la media y desviación estándar de dicho conjunto de valores. La representación gráfica de esta ley es la curva de probabilidad normal o campana de Gauss. Cuando los datos corresponden a la distribución normal la fórmula matemática asociada permite conocer la probabilidad P con la que se presentan datos superiores o inferiores a un valor concreto dentro del conjunto de datos. Si representamos la ecuación en su curva, la probabilidad puede ser obtenida

directamente del gráfico para cualquier valor concreto. En realidad la probabilidad vendrá dada por el área bajo la curva normal del valor dado, lo cual en principio nos obliga a rechazar los cálculos cada vez que necesitemos obtener una información concreta sobre la probabilidad de ciertos valores.

Para evitar la repetición de cálculos y poder trabajar siempre con la misma curva se lleva a cabo la normalización de la función normal. De esta forma cualquiera que sea la distribución de los datos que estamos estudiando una vez realizada la normalización tendrá como siempre de media el valor 0 y como desviación estándar el valor uno.

En términos estadísticos la distribución normal estándar se representa como $N(0,1)$, es decir, normal N con media 0 y desviación estándar 1. Esta distribución normal estándar está resuelta en tablas y nos permite trabajar con la misma curva independientemente del proceso en estudio.

Distribución normal estándar

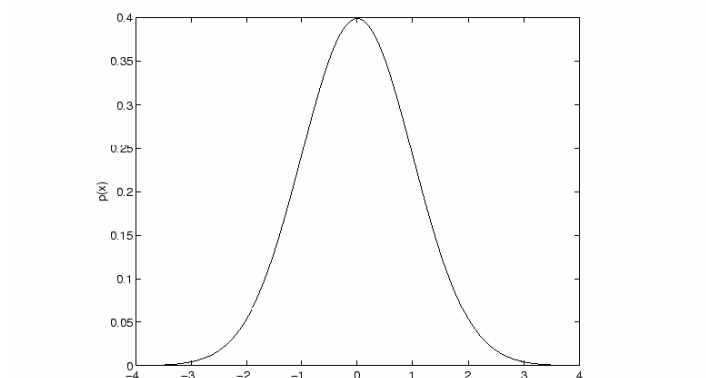


Figura 11. Distribución Normal.

4.2.8. Muestras y muestreo

Muestrear es el proceso de recoger una parte de los datos totales disponibles, la totalidad de los datos disponibles se llama población, sin embargo el utilizar todos los datos de la población a veces resulta imposible. El objetivo del muestreo es extraer conclusiones sobre la población usando los datos de la muestra, lo que es conocido como inferencia estadística.

Al trabajar con muestras hay que tener presentes varias consideraciones. El verdadero valor de la población cuyo valor queremos estimar con la muestra, la confianza que representa la probabilidad de errar o acertar y el intervalo de estimación que corresponde a los valores entre los que estimamos que estará e valor desconocido.

El intervalo de confianza lo fijamos habitualmente en función de la precisión deseada en el estudio y está muy relacionado con el nivel de confianza fijado teniendo en cuenta el riesgo aceptable de las conclusiones del estudio.

Para manejar una buena muestra se deben dar las siguientes cualidades:

- Sin sesgos. Un sesgo en una muestra es la presencia o influencia de algún factor que origina que la población o proceso aparezcan diferentes de lo que realmente son. Los sesgos se introducen cuando se recogen los datos sin tener en cuenta los factores que influyen la población o proceso ni la influencia de la forma de tomar los datos en los propios datos.
- Representativa. En una muestra representativa los datos reflejan con precisión la población o proceso. Las muestras representativas ayudan a evitar sesgos específicos de los segmentos o partes de la población o proceso.

- Aleatoria. En una muestra aleatoria los datos se recogen sin ningún orden predeterminado, cada elemento tiene igual posibilidad de ser seleccionado. El muestreo aleatorio ayuda a evitar sesgos específicos relativos al tiempo y orden de la recogida de datos o de la persona que los recoge.

4.2.9. Teorema del límite central.

Si una variable aleatoria tiene una distribución normal, con media μ y desviación estándar σ , la distribución de las medias de n muestras de dicha población es también una distribución normal de media μ y desviación estándar σ dividida por la raíz cuadrada del número de muestras tomadas.

El teorema central del límite plantea que la distribución de las medias de las n muestras converge hacia la normal $N(\mu, \sqrt{n})$ a medida que n aumenta, incluso si la distribución estudiada no fuera normal. Además esta convergencia tiene lugar para tamaños de muestra reducidos. Esta propiedad nos permite estimar los parámetros de una población desconocida, sea normal o no, a partir de un grupo de pequeñas muestras de dicha población y de la distribución de las medias de cada muestra.

4.2.10. Recogida de datos

Para desarrollar con éxito un proyecto con la metodología Seis Sigma es muy importante obtener información adecuada. Sin embargo solamente recogiendo datos no tendremos la garantía de tener información adecuada a las necesidades del proyecto. El aspecto clave es cómo generar información útil en lugar de cómo recoger datos.

La generación de información empieza y termina con preguntas. Para generar información necesitamos:

- Formular con precisión las preguntas adecuadas.
- Recoger los datos y hechos asociados.
- Analizar los datos.
- Presentar los datos de forma clara.

Aprender a hacer las respuestas adecuadas es una habilidad para la recogida de datos. Buenos datos, recogidos con un plan estadístico adecuado, no son útiles salvo que correspondan a las preguntas que pretendemos responder.

La recogida de datos es muy importante para el desarrollo del proyecto, necesita ser entendido y mejorado. La metodología a seguir comienza por definir la pregunta entrando en los detalles de la recogida de datos, pensando cómo vamos a comunicar la respuesta y qué tipo de análisis necesitaremos. De esta forma definimos los datos necesarios y clarificamos las características de dichos datos.

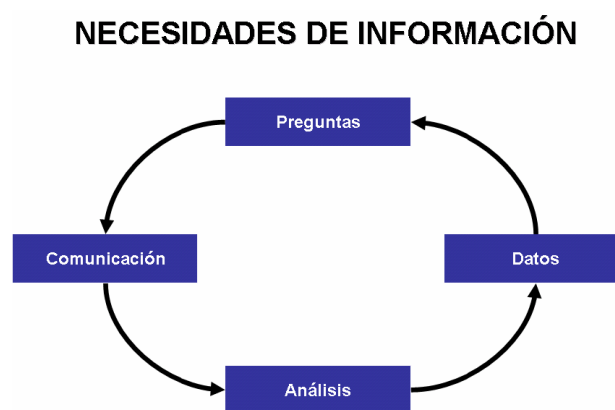


Figura 14. Necesidades de Información.

La frecuencia de muestreo es solamente aplicable cuando los datos se recogen a lo largo del tiempo y, más frecuentemente, para el control y vigilancia de los procesos. En los casos que en el proceso no varía

previsiblemente a lo largo del tiempo el tamaño de la muestra necesario puede obtenerse de forma aleatoria.

Los pasos que determinan el éxito de la recogida de datos son los siguientes:

1. Formular preguntas adecuadas
2. Considerar las herramientas de análisis.
3. Decidir cómo medir: población o muestra.
4. Definir puntos adecuados para la recogida de datos.
5. Comprender a las personas que recogen los datos y su entorno formándolas.
6. Preparar y probar las hojas para las recogidas de datos y sus instrucciones.
7. Validar el proceso de recogida de datos.

4.2.11. Análisis de los sistemas de medidas.

La precisión de un sistema de medida es su capacidad para repetir los mismos resultados en diferentes mediciones repetidas. En la mayor parte de los sistemas tecnológicos esta capacidad de repetir mediciones está cuantificada.

Cuanto más críticas sean las características de calidad, mayor es la necesidad de evaluar la precisión del sistema de medida utilizado, sea tecnológico o humano. Es necesario reducir al mínimo la subjetividad ligada a la naturaleza humana.

La exactitud de un sistema de medida es el grado en que proporciona el verdadero valor de una característica. La diferencia entre el valor observado y el valor verdadero es el error del sistema, puede ser positivo o negativo.

En sistemas tecnológicos la exactitud es fácil de ajustar mediante calibración. La precisión de un sistema de medida no es sencillo de ajustar. El límite máximo de precisión está condicionado por el diseño del sistema, de modo que, cualquier mejora en la precisión necesita rediseñar el sistema. Un sistema puede estar trabajando por debajo de su precisión, por ello aunque sea adecuado se debe hacer un mantenimiento y un control apropiado para asegurar la precisión.

Cuando se llevan a cabo varias mediciones del mismo elemento podemos obtener la media, la diferencia entre esta media y el verdadero valor se llama exactitud o error sistemático del sistema de medida. La dispersión de los valores respecto a la media se llama precisión del sistema. Un sistema de medida puede ser preciso pero inexacto, lo ideal es que sea preciso y exacto.

Un sistema de medida puede generar dos tipos de errores, el primero de ellos es consecuencia de los instrumentos o los medios para obtener los datos, esta desviación de los equipos de medida hace que los valores medidos presenten un sesgo o desviación frente a los valores reales. Este tipo de error se detecta y corrige mediante calibración de los equipos con un patrón y analizando la comprobación para obtener las correcciones oportunas. Se pueden producir tres errores: de exactitud, de linealidad y de estabilidad.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

	% contribución	% variación	% tolerancia	Ratio discriminación
Aceptación	< 1%	< 10%	< 15%	> 10
Crítico	1% - 9%	10% - 30%	15% - 30%	4 - 9
No aceptación	> 9%	> 30%	> 30%	< 4

Figura 15. Criterios de Aceptación.

El error de desviación asociado al sesgo o a la exactitud representa la diferencia entre el valor medio de las observaciones realizadas y la media real. La validación de la exactitud es el proceso de cuantificar esta diferencia en el proceso de medición. La media real es la mejor medida, realizada con el equipo o sistema más exacto disponible, este valor suele ser utilizado como patrón de referencia.

El error de estabilidad es la diferencia entre la media de medidas realizadas por el mismo operador, utilizando el mismo equipo proceso de medida, cuando mide la misma característica en momentos diferentes.

La linealidad es un error de desviación cuyo origen es la diferencia entre las distancias de la media de medidas y el valor real, cuando se realizan mediciones en los diferentes valores del rango o intervalo de medición utilizados en el sistema, la linealidad del sistema también suele estar relacionada con el equipo o dispositivo utilizado.

Otro error de los sistemas de medida es el de dispersión que afecta tanto a instrumentos como a métodos y personas. Un mismo valor medido por diferentes personas y/o con diferentes instrumentos puede originar datos de medición diferentes. Si a la dispersión propia del proceso le añadimos la

dispersión del sistema de medida, las observaciones tendrán una dispersión mayor. El objetivo será compararla dispersión de la medida con respecto a la del proceso. Si la primera es pequeña respecto a la segunda, el error de medición será poco significativo, pero si sucede al revés, tendremos un problema con el sistema de medición.

La repetibilidad es un tipo de error de dispersión que representa las diferencias entre los distintos valores obtenidos por el mismo operador, utilizando el mismo equipo y proceso de medida, cuando mide repetidas veces la misma característica en el mismo elemento, representa la capacidad del sistema de medida para obtener resultados consistentes.

El error de dispersión causado por la reproducibilidad es la diferencia entre la media de las medidas realizadas por los diferentes operadores utilizando el mismo equipo y proceso de medida, cuando miden repetidas veces la misma característica en el mismo elemento.

La reproducibilidad es muy similar a la repetibilidad, pero ampliando el alcance a las distintas circunstancias que afectan a la medida. Los sistemas de medida generan errores por discriminación, se miden por el número de clases o unidades elementales que pueden ser apreciadas por el sistema de medida, está asociada al equipo o instrumento de medida no adecuado a la exactitud requerida.

Existen tres criterios para evaluar la repetibilidad y reproducibilidad de un sistema de medida con datos continuos:

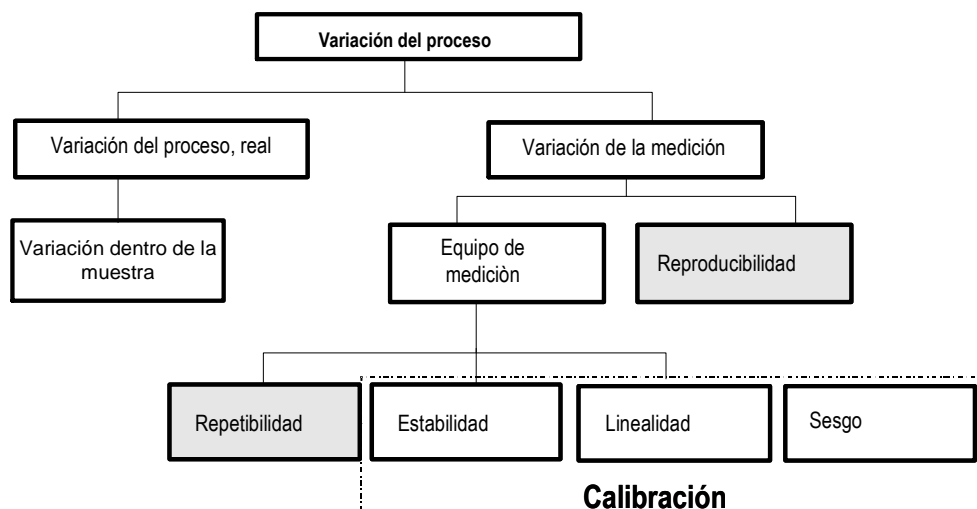
1. El primero o de porcentaje de contribución utiliza la aportación de la varianza debido al método de medida respecto de la varianza total observada en el estudio, es decir, la debida al método y la debida a las muestras que se están midiendo (ANOVA).

2. El segundo utiliza la variación medida como 5.15 veces la desviación estándar, asociada al método y a la total observada.
3. El tercer método compara la variación debida al método respecto a la tolerancia de medida, que se utiliza para evaluar un método que se utiliza para medir siempre un mismo valor.

4.2.12. Capacidad del proceso.

La capacidad del proceso es una medida de su rendimiento que tiene en cuenta el grado en que el resultado de un proceso está dentro del campo que fijan las especificaciones o requisitos del cliente, mide el grado de conformidad de los resultados de un proceso con respecto a los valores especificados.

La baja capacidad de un proceso puede estar producida por dos características del proceso o por la combinación de ambas. Un proceso puede estar centrado, de forma que el valor medio de su resultado estará próximo al centro del intervalo de la especificación, pero ser impreciso, por lo que algunos valores estarán fuera de dicho intervalo, en cualquier caso y no cumpliendo por tanto la especificación.



Por otra parte, un proceso puede ser preciso, tener poca dispersión, pero estar descentrado, de forma que el valor medio de su resultado estará próximo a uno de los extremos del intervalo de especificación y, a pesar de su pequeña dispersión, alguno de los valores estará fuera del intervalo e incumple.

La cantidad de valores fuera de especificación puede ser la misma en ambos casos, pero el comportamiento del proceso, y las posibilidades de mejora son diferentes. Hay que tener en cuenta que es más fácil mejorar un proceso preciso y descentrado que uno centrado e impreciso.

$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6s}$$

$$C_{pk} = \frac{\min(LSE - \bar{x}, \bar{x} - LIE)}{3s}$$

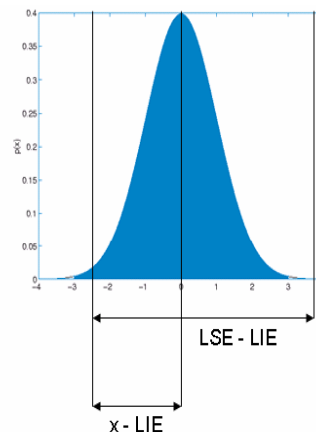


Figura 14. Capacidad del Proceso.

El índice de capacidad solamente tiene en cuenta la dispersión y es el cociente entre el intervalo de la especificación y la dispersión total del proceso, expresado como seis desviaciones estándar (6σ). El índice de capacidad y centrado contempla la dispersión y la desviación del proceso de respecto al centro del intervalo de la especificación., es decir podemos reducir la desviación estándar o cambiar la media.

Este índice es el cociente entre el intervalo, desde la media al límite de especificación más próximo, y la mitad de la dispersión del proceso, expresada como tres desviaciones estándar, los límites se encuentran en $\mu \pm 3\sigma$.

Los estudios de capacidad facilitan información cuantitativa del proceso a mejorar. Este estudio permite evaluar si las especificaciones son correctas para el proceso tal y como está funcionando y se ha diseñado y además muestran si la tendencia central de la variable en observación está centrada respecto a las especificaciones.

Si la variación del proceso es mayor que la permitida por las especificaciones, será necesario analizar las causas de variabilidad del proceso para poder reducirla o, si el proceso no puede reducir su variabilidad, será necesario realizar nuevas especificaciones para que el proceso sea capaz de cumplirlas.

El análisis de la variabilidad del proceso se centrará en las causas por las que el proceso está descentrado, para poder centrarlo y mejorar la capacidad del proceso. Otro aspecto importante de los índices de capacidad es que permiten predecir el nivel de defectos o incumplimientos del proceso. Las propiedades de la distribución normal permiten asociar al valor del índice de capacidad al porcentaje de defectos del proceso estudiado.

Al medir la capacidad del proceso hay que tener en cuenta que los procesos son dinámicos. En las medidas de capacidad se ha de tener en cuenta esta variación, si tenemos en cuenta la variación a largo plazo, el índice de capacidad no cambiará de un momento a otro ya que solamente tiene en cuenta la dispersión y ésta no cambia con el tiempo.

En Seis Sigma se asume que la variación del valor medio de un proceso a lo largo del tiempo equivale a 1.5 veces su desviación estándar, es decir, cuanto más disperso sea un proceso, más tendencia tendrá a descentrarse, y por tanto, a perder capacidad.

Fase	Objetivos	Enfoque	Herramientas
Medir	Identificar las variables de salida(Y's) y de funcionamiento (X's) del proceso	<p>Identificar las Y's del proyecto</p> <p>Relacionar las Y's con los CTQ's y priorizarlas</p> <p>Identificar las X's del proyecto</p> <p>Relacionar las X's con las Y's y priorizarlas</p>	<p>Al finalizar se debe tener realizado:</p> <p>Mapa de Proceso CTQs.</p> <p>Diagramas de Flujo.</p> <p>Plan de recolección de Datos.</p>
	Recoger datos útiles para evaluar el rendimiento actual del proceso	<p>Plantearse las preguntas adecuadas para relacionar las Y's con las X's.</p> <p>Planificar y recoger datos para dar respuesta a las preguntas anteriores.</p> <p>Evaluar la validez de los datos recogidos.</p> <p>Determinar la capacidad actual del proceso.</p> <p>Revisar y actualizar el cuadro de proyecto.</p>	<p>Análisis Gráficos</p> <p>Z usando MINITAB o DPMO usando la Hoja de Excel L100</p> <p>En esta etapa, generalmente es útil:</p> <p>Diagramas de Causa & Efecto</p> <p>Análisis FMEA ó FMECA Estudio de Medida</p>

--	--	--	--

Figura 15. Esquema general Medir.

4.3. ANALIZAR.

El objetivo general de la fase análisis es la reducción del campo de las muchas causas (X's) raíces de la variabilidad o defectos del proceso en sus entradas, utilizando datos recopilados en la fase de medición y otros posibles datos cuya necesidad pueda surgir a lo largo del análisis. La medición X puede ser: el número de empleados, el coste de las materias primas o la duración de una llamada

El nivel necesario de análisis dependerá de la complejidad del proceso en estudio y del tipo de causas que influyen en su variabilidad y en sus defectos.

El conocimiento del proceso puede facilitar conclusiones que, a modo de mejoras obvias, pueden ser aplicadas sin necesidad de técnicas analíticas más profundas.

A veces la causa raíz de un problema es evidente. Sin embargo en algunas ocasiones la causa raíz se encuentra enterrada y no se observa a simple vista, para esto es necesario que el equipo opte por preguntarse ¿por qué? con el fin de indagar en el pasado lo cual llevara a detectar la causa raíz de los defectos finales. Al igual que en la fase anterior pero esta vez aplicando herramientas de análisis a los datos tomados, con lo que se hace necesario formular hipótesis acerca de su funcionamiento y recoger más datos para comprobar dichas hipótesis mediante técnicas estadísticas que permitan asegurar la influencia de las causas en el resultado del proceso.

Las herramientas de análisis dependen del tipo de preguntas a responder y de que los datos disponibles sean de naturaleza discreta o continua. Los datos de las salidas (Yos) pueden ser continuos o discretos.

En el caso de los parámetros de funcionamiento del proceso, también pueden ser variables de tipo continuo o tratarse de circunstancias tratadas como discretas. En función de dichos datos y de las preguntas a las que buscamos respuesta, seleccionaremos la herramienta más adecuada.

4.3.1. Herramientas básicas para la fase de Análisis.

Análisis gráfico

Un primer análisis, relacionado con la estadística descriptiva, es la representación y estudio gráfico de los datos. En la fase anterior (Medir), al tratar de las Yos y de sus primeras mediciones así como en la sección de estadística, se han comentado algunas herramientas gráficas. Las conclusiones del análisis gráfico serán el punto de partida para el análisis estadístico y en otras ocasiones el análisis gráfico permitirá descartar alguno de los planteamientos sobre relaciones causa – efecto de la fase anterior.

Para seleccionar la herramienta hay que tener en cuenta la teoría a comprobar, las herramientas gráficas que se utilizan más habitualmente en el análisis gráfico de los proyectos Seis Sigma son las siguientes:

- **Histogramas.** Permiten observar distribuciones de datos y comprobar determinadas hipótesis sobre el funcionamiento del proceso y además para comparar distribuciones de datos de varios grupos (son necesarios bastantes datos).

- Gráficos de cajas. Comparan distribuciones de datos entre numerosos grupos, utilizando menor número de datos que en los histogramas.
- Gráficos multivariable. Utilizados para observar la variable de respuesta en función de diferentes factores que, en principio, parecen coincidir con la respuesta.
- Gráficos de puntos. Representa una alternativa a los histogramas o box - plots, con mayor detalle sobre los valores observados.
- Gráficos de matriz. Se usan para comprobar la influencia entre unas variables y otras, tanto de X sobre Y como a la inversa.
- Gráficos de dispersión. Estos gráficos visualizan de forma más clara que en los gráficos de matriz, la relación entre una variable efecto (Y) y una variable causa (X).

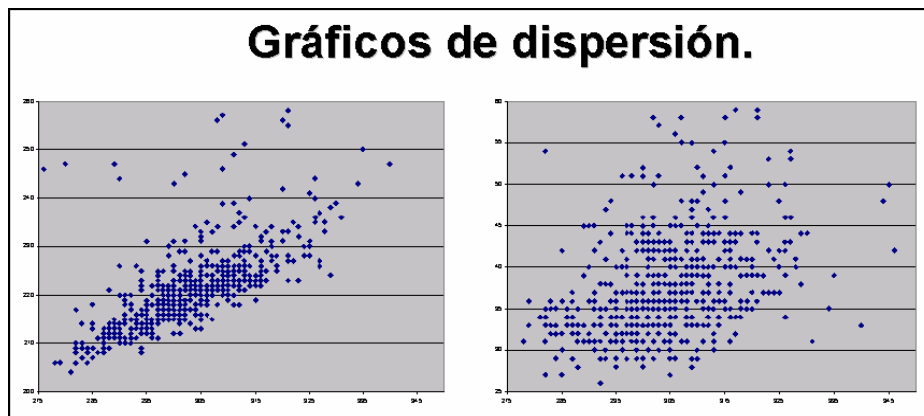


Figura 16. Gráficos de dispersión.

4.3.2. Pruebas de hipótesis

Para poder plantear estas pruebas es necesario conocer la terminología y los métodos para la prueba de hipótesis.

Si una vez realizado el contraste la hipótesis nula (H_0) es real y con el análisis de datos no la rechazamos, estaremos tomando la decisión

correcta, pero si la rechazáramos estaremos cometiendo un error de tipo I. Este error es el riesgo de encontrar alguna diferencia cuando realmente no hay ninguna.

Cuando la realidad es que la hipótesis cierta es la alternativa (H_a), si rechazamos la hipótesis nula estaremos tomando la decisión correcta, pero si no la rechazáramos estaremos cometiendo un error de tipo II. El error de tipo II es el riesgo de no encontrar diferencia donde realmente la hay.

En los proyectos Seis Sigma se trata de tener seguridad cuando se rechaza la hipótesis nula, es decir, cuando se afirma la existencia del problema o la influencia de una variable. Para ello se adopta, como cifra habitual, un margen de confianza del 95%, es decir, un riesgo de error del 5%. Este error se simboliza con la letra alfa (α) y se expresa en tanto por uno como 0.05. El riesgo de cometer un error del tipo II se simboliza con la letra (β).

Las pruebas de hipótesis, parten siempre del supuesto de que la hipótesis nula es válida, hasta que los datos demuestran lo contrario. El funcionamiento de las pruebas de hipótesis comienza con la selección de la prueba a realizar, en función de dicha prueba se seleccionan y recopilan los datos necesarios para realizarla. Con los datos recopilados se calcula el intervalo del estadístico de la prueba y se verifica si comprende el valor crítico de dicho estadístico, obtenido en tablas, para las condiciones de la prueba, tales como el riesgo de error (alfa) o el tamaño de la muestra suponiendo que la hipótesis nula fuera cierta. En la práctica las aplicaciones estadísticas realizan esta comparación y proporcionan el conocido como “valor p” que representa el error que se va a cometer si se rechaza la hipótesis nula.

En función del resultado de dicha comparación se toma la decisión correspondiente:

- Rechazar la hipótesis nula si el valor del intervalo del estadístico calculado no comprende al valor crítico o si el valor p de la prueba es inferior al riesgo de error asumido.
- No rechazar la hipótesis nula si el valor del intervalo del estadístico calculado incluye al valor crítico o, en otras palabras, si el valor p de la prueba es superior al riesgo de error asumido.

Las pruebas de hipótesis parten de la base de que el supuesto o hipótesis nula (H_0) es cierta y es necesario demostrar, con la prueba de los datos, que realmente no es así. Tenemos que rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa.

Para asegurar un riesgo dado al rechazar la hipótesis nula, dicho riesgo se suele fijar generalmente en el 5%, de modo que si al realizar la prueba al valor p es inferior al riesgo se puede rechazar la hipótesis nula sin sobrepasar el error asumido.

Cuando el valor p es superior al riesgo asumido (mayor al 0.05) no se debe rechazar la hipótesis nula sin sobrepasar el riesgo asumido, la confianza obtenida es menor del 95%.

En los casos en los que el valor p es próximo a 0.05 es conveniente ampliar el tamaño de muestra para dar a la herramienta más potencia, es decir, reducir la amplitud del intervalo del estadístico correspondiente, para que la prueba pueda identificar las diferencias existentes y obtener un valor p que nos permita aceptar o rechazar la hipótesis nula.

En Seis Sigma se suele utilizar un riesgo de error del tipo I del 5%, pero dependiendo del proceso en estudio y del impacto de un posible error en su resultado se adoptan riesgos más conservadores. Es frecuente que en temas relacionados con la seguridad o con la vida de las personas los

riesgos de las pruebas de hipótesis realizadas sean inferiores al 0.005% e incluso al 0.001% (confianzas del 99.5% y 99.9%).

Al realizar pruebas de hipótesis, se parte de un valor supuesto (hipotético) en parámetro poblacional. Después de recolectar una muestra aleatoria, se compara la estadística muestral, así como la media (\bar{x}), con el parámetro hipotético, se compara con una supuesta media poblacional. Después se acepta o se rechaza el valor hipotético, según proceda. Se rechaza el valor hipotético sólo si el resultado muestral resulta muy poco probable cuando la hipótesis es cierta.

A continuación se presentan los pasos a seguir para la realización de un contraste de hipótesis:

1. Definir el problema en términos habituales del proceso, es decir, el problema práctico.
2. Establecer la hipótesis nula (H_0) equivalente a la ausencia del problema y la hipótesis alternativa (H_a) como confirmación del problema. Determinar el riesgo de error de tipo I (alfa) asumible para la prueba, pasando de un problema práctico a uno estadístico.
3. Elegir el estadístico adecuado para la prueba que se va a realizar, en función de la distribución de probabilidad que supone la hipótesis nula (normal, t de Student, F de Snedecor, Ji Cuadrado).
4. Determinar el tamaño de la muestra a utilizar, en función de la potencia que se quiere utilizar en la prueba. Cabe recordar que el análisis gráfico habrá apuntado una posible diferencia, por lo que no se suele requerir demasiada potencia. Sin embargo es recomendable utilizar los tamaños de muestra obtenidos por cálculo y ampliarlos en caso que la prueba presente resultados insuficientes.

5. Realizar la prueba calculando el intervalo del estadístico y verificando si incluye el valor crítico. Existen herramientas informáticas que proporcionan directamente el valor p de la prueba.
6. Rechazar o no la hipótesis nula en función del valor p de la prueba, es decir, encontrar la solución estadística al problema planteado.
7. Una vez resuelto estadísticamente el problema se traduce la conclusión estadística en soluciones prácticas aplicables al problema en estudio.

4.3.3. Tablas de contingencia.

Las tablas de contingencia se utilizan como prueba de hipótesis cuando los datos de la variable dependiente o de la característica observada en la salida del proceso son de tipo discreto. Estas tablas se utilizan con cualquier tipo de datos discretos, sean dos o más alternativas, e incluso, pueden ser utilizadas con datos continuos aunque en este caso existen herramientas más adecuadas.

El estadístico utilizado sigue una distribución Ji – cuadrado, que corresponde a las frecuencias con las que se obtienen datos en diferentes grupos o factores independientes. Los datos utilizados deben ser al menos de dos tipos e independientes entre sí. Se pueden utilizar más de dos datos en cada grupo o factor de estudio, los factores de estudio pueden ser dos o más.

La hipótesis nula es la independencia de los factores en lo que respecta a los datos observados y la alternativa es que al menos uno de los factores no es independiente del resto.

Los datos se organizan en una tabla llamada de contingencia, generalmente las columnas corresponden a los factores que se quieren comprobar,

excepto la primera que a modo de cabecera describe la verificación o prueba realizada para evaluar la independencia. Las filas contienen los datos obtenidos en cada verificación o prueba. A efectos del cálculo del valor crítico de Ji – cuadrado, los grados de libertad son el producto de las filas menos una por las columnas menos una.

		TABLAS DE CONTINGENCIA	
		Y	
		Datos continuos	Datos discretos
X	Datos continuos	¿Cómo afectan los cambios en X a los cambios en Y? <u>Estadísticas:</u> Regresión. <u>Gráficas:</u> Diagrama de dispersión.	¿Cómo afectan los cambios en X a los cambios en Y? <u>Estadísticas:</u> Regresión logística binaria.
	Datos discretos	¿Medias diferentes? <u>Estadísticas:</u> t - test, ANOVA. <u>Gráficas:</u> Histogramas. ¿Varianzas diferentes? <u>Estadísticas:</u> homogeneidad de la varianza. <u>Gráficas:</u> Box – plots estratificados	¿Salidas diferentes? <u>Estadísticas:</u> tablas de contingencia. <u>Gráficas:</u> diagrama de Pareto estratificado.

Figura 17. Tablas de Contingencias.

El estadístico Ji – cuadrado se obtiene mediante la suma (por filas, por columnas y/o total) del cociente entre la diferencia de frecuencias observada y esperada, elevada al cuadrado, y la frecuencia esperada. Se utiliza el cuadrado para evitar el signo negativo en el caso que la frecuencia observada fuera menor que la esperada. La frecuencia observada corresponde al valor del dato obtenido realmente. La frecuencia esperada corresponde al valor del dato que se debiera obtener si la hipótesis nula es cierta y se calcula a partir de los datos de la tabla mediante el producto (en cada celda) de la suma de los valores de la fila por la suma de los valores de la columna, dividido por la suma de los valores totales.

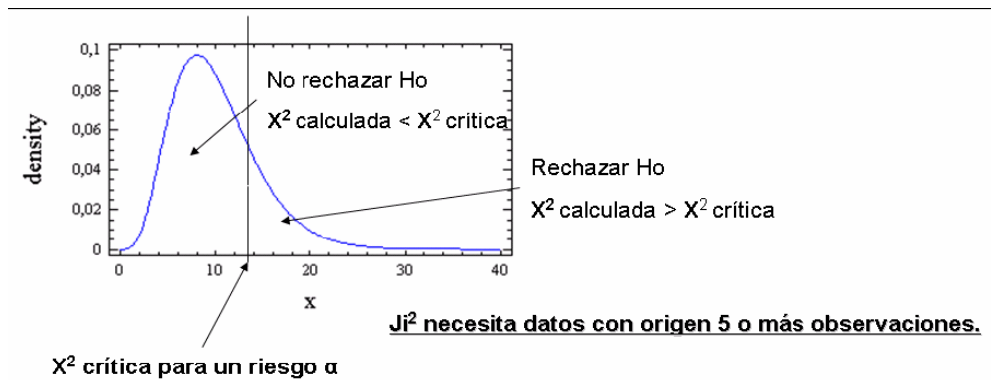
El valor de Ji – cuadrado se puede calcular para una fila (dato en observación), para una columna (factor de análisis) y para la tabla completa, cuando se trata de una prueba de independencia.

La expresión del estadístico Ji – cuadrado es la siguiente:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^g \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

donde:

- g=grupo de datos.
- fo=frecuencia observada en cada celda (nº de sucesos).
- fe=frecuencia esperada en cada celda (nº de sucesos).



Coeficiente de correlación.

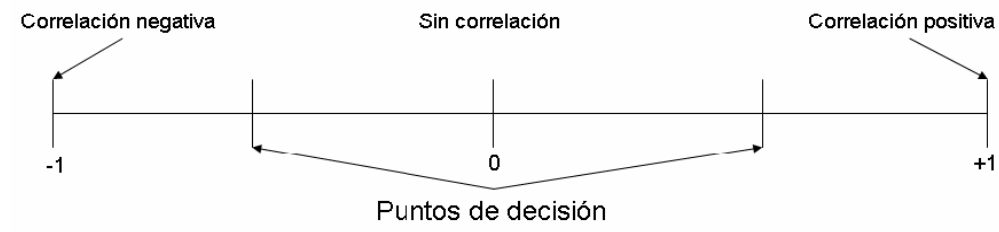


Figura 21. Coeficientes de Correlación.

Algunas pruebas realizadas para determinar la correlación y regresión son las siguientes:

- **Diagrama de dispersión.** Técnica gráfica que permite apreciar visualmente la relación existente entre dos variables.
- **Coeficiente de correlación r .** Valor numérico mediante el cual podemos cuantificar el grado de dependencia entre una variable de salida (Y) de tipo continuo o varias de entrada y de proceso (X's).

La hipótesis nula es que no hay relación entre las variables en estudio, el contraste utiliza el producto de momentos y proporciona el valor p para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

Si $|r| > 0.80$ la relación es importante, mientras que si $|r| < 0.20$ la relación no es significativa.

- **Ecuación de regresión.** Una ecuación de predicción, no necesariamente lineal, que permite utilizar los valores de las entradas o variables del proceso (X's) para predecir el correspondiente resultado (Y).

Regresión simple

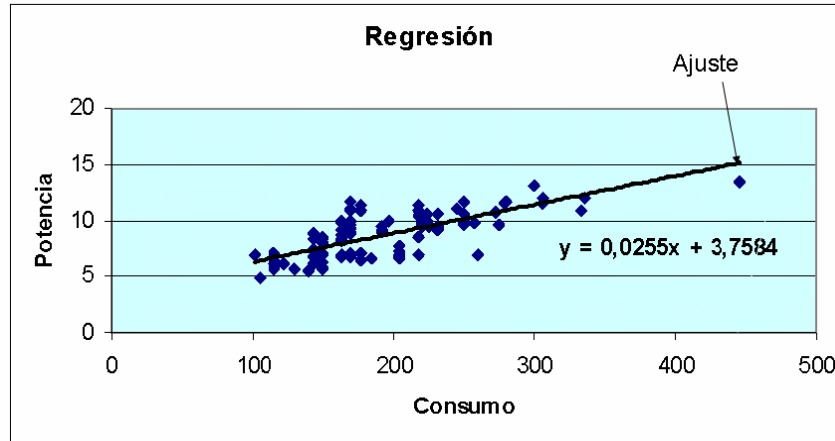


Figura 19. Regresión Simple.

- **Coefficiente de determinación R².** Representa la adecuación del modelo de regresión o, en otros términos, la cantidad de variación explicada por la ecuación de regresión. Los valores altos de R² indican que la mayor parte de la variación del proceso está explicada por la variable en estudio. Valores cercanos al 60% se consideran buenos aunque en procesos relacionados con la seguridad de las personas se buscan coeficientes de determinación superiores al 90%. Una ecuación de regresión se puede utilizar para predecir una respuesta dentro del rango de las variables que se probaron. Podemos realizar extrapolaciones, con precauciones si conocemos que el proceso no cambiará las variables de entrada.

4.3.4. Análisis de la varianza (ANOVA).

El objetivo de este análisis consiste en cómo determinar la influencia de variables de proceso (X's) discretas sobre una variable de resultado (Y) continua. Para realizar este análisis se utilizarán herramientas para comparar distribuciones de datos continuos mediante la media y la desviación estándar.

Las condiciones que se deben cumplir para poder aplicar son.

- Todas las poblaciones sean normales.
- Todas las poblaciones tienen la misma varianza.
- Los errores son independientes con distribución normal cero.
- La varianza se mantiene constante para todos los niveles del factor.

El análisis de la varianza es la prueba con mayor potencia para comparar si las medias de diferentes grupos de datos son iguales entre sí. La hipótesis nula supone que las medias son iguales mientras que la hipótesis alternativa es que al menos uno de los grupos de datos presenta una media diferente de los demás.

La prueba se basa en el estadístico F de Fisher, que compara la varianza entre los grupos (distancia de la media de cada grupo a la media total) y la varianza interna (distancia de cada valor a la media de su grupo). Para ello es necesario que los datos sean normales e independientes y además las varianzas de los grupos deben ser estadísticamente iguales.

Se basa en comparar el valor calculado del estadístico F de Fisher con el valor crítico que se obtiene en tablas, para el nivel de confianza (alfa) establecido y los grados de libertad. Las aplicaciones estadísticas proporcionan el valor – p de esta comparación, de forma que, en función del resultado anterior, se pueda rechazar la hipótesis nula. La aplicación de esta herramienta no termina cuando se realiza la prueba y se interpretan los resultados (valor – p) para rechazar o no la hipótesis nula. Además la utilización de aplicaciones informáticas estadísticas permite obtener información complementaria mediante el análisis de los residuos y mediante el cálculo de la cantidad de variación explicada por la diferencia entre las medias de los grupos del análisis.

Los pasos a seguir al realizar un análisis de la varianza de un factor (ANOVA) de forma completa son los descritos a continuación:

1. Formular el problema práctico.
2. Verificar los requisitos previos.
3. Formular las hipótesis nula y alternativa.
4. Recopilar los datos y realizar la prueba con una aplicación.
5. Interpretar los resultados iniciales.
6. Analizar los residuos.
7. Calcular el resultado del tratamiento.
8. Traducir la conclusión a términos del proceso.

Fase	Objetivos	Enfoque	Herramientas
Analizar	LISTA DE TODAS (X)'s DE PRIORIDAD	Identificar cuáles son las fuentes de variación en (Y)	Diagramas de Proceso o los Mapas de Proceso. Diagramas de Causa & Efecto. Análisis Causa Raíz. Análisis Gráficos. Diseño de experimentos. DOE

Figura 20. Esquema general Analizar.

4.4. MEJORAR.

A partir de este momento el equipo necesitará generar, seleccionar e instrumentar soluciones eficaces de manera activa que eliminarán la causa raíz. Sin embargo el hábito de empezar a resolver el problema sin entenderlo es tan fuerte, que muchos equipos consideran un desafío trabajar en esta etapa.

Para esta fase es básico que los equipos se apoyen en las herramientas de análisis y solución de problemas de tipo estadístico y administrativo que tiene su nacimiento en el Kaizen pero que han sido mejoradas con las aplicaciones del Software que soporta la metodología, “Minitab” por otro lado vendrán un análisis de costo beneficio con el fin de seleccionar las soluciones más prometedoras y prácticas. Esto se hace a través de la confirmación de las variables claves y la cuantificación de los efectos de esas variables en los resultados críticos para la calidad (Ys), así se identifica el máximo margen aceptable para cada variable con el fin de asegurar un sistema de medida que de hecho pueda medir esa variación y modificar cada variable para que permanezca dentro del área aceptable.

En esta fase también se busca implementar las soluciones, las cuales se fundamentan en la identificación de estrategias de mejoramiento, estas deben gestionarse con cuidado y verificarse. Es necesario hacer una implementación piloto a pequeña escala; los equipos tienen que hacer un cuidadoso análisis de problemas potenciales para determinar que puede ir mal y prevenir o manejar las dificultades. Los nuevos cambios tienen que darse a conocer a todos los miembros de la organización.

Una estrategia de mejora se puede considerar como un enfoque sistemático para, a partir de las X's vitales del proceso, que se han confirmado en la fases anteriores, determinar la mejor forma de hacer funcionar el proceso para conseguir un resultado más eficiente.

La fase de mejora puede comenzar al inicio del proyecto, mediante la identificación de actividades sin valor añadido y fuentes obvias de variación, que no necesiten comprobación. Será necesario generar alternativas de mejora y utilizar pruebas piloto para comprobar sus resultados y encontrar la mejor solución.

Es posible que el proyecto incluya una combinación de tipos de X's vitales, alternativas y factores. En esta situación se utilizarían ambas estrategias de mejora para las X's vitales específicas, que pueden dar como resultado más de una solución propuesta.

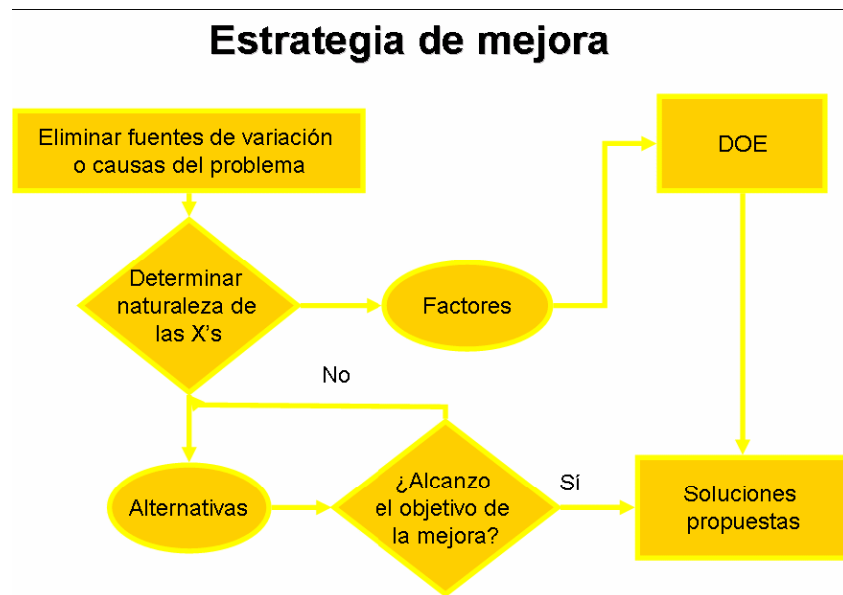


Figura 21. Estrategia de Mejora.

4.4.1. Introducción al Diseño de Experimentos (DOE).

El DOE es una herramienta que permite identificar cómo los factores (X's), solos y en combinación, afectan a un proceso y a su resultado (Yos). Es una herramienta para seleccionar y evaluar la mejor solución para mejorar el proceso. En la fase Analizar se ha tratado la ecuación de regresión como herramienta de análisis, pero también tiene una aplicación útil en el desarrollo de un modelo matemático que permita seleccionar los valores (continuos) de las variables del proceso (X) que producen el resultado deseado (Y), es decir, identifica las variables claves de un proceso y determina los valores más deseables de un proceso.

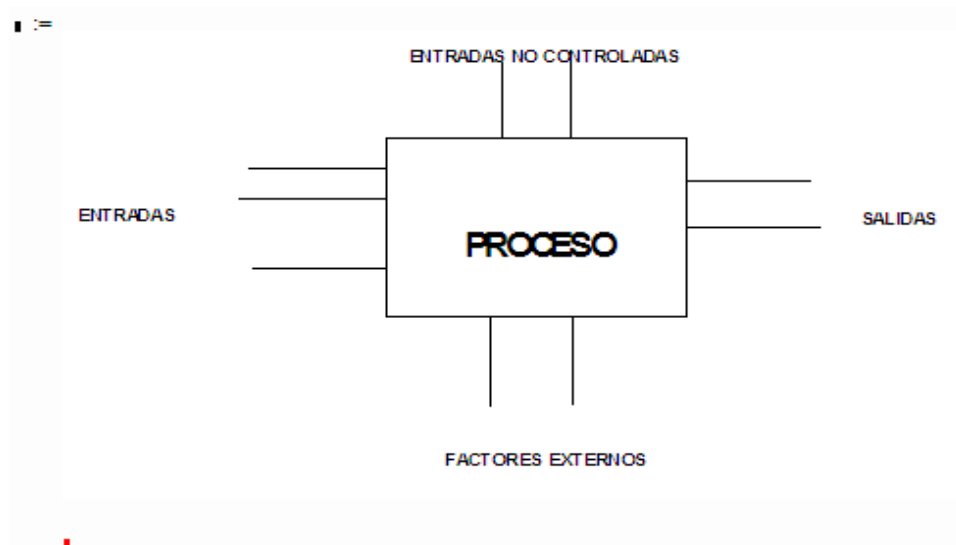


Figura 22. Diseño de experimentos.

Las X's son elementos activos y se quiere desarrollar un modelo matemático o determinar la mejor configuración de las X's, el diseño de experimentos es la herramienta más eficaz. El DOE permite probar simultáneamente varias entradas para determinar cómo afectan a las salidas, ya sea cada una de forma aislada o en combinación, identificando así las variables del proceso que tienen una mayor influencia en la respuesta.

En el caso de tener varios factores que afecten al resultado, las mejoras se pueden evaluar de tres formas distintas:

Primer Método. Fijar todos los factores menos uno, y experimentar con este factor hasta encontrar en qué nivel produce el mejor resultado. Una vez identificado dicho nivel, fijamos este factor y experimentamos con otro, y así hasta tener los niveles adecuados a cada factor. El problema de este método es que no tiene en cuenta las interacciones y combinaciones entre los factores, por lo que podemos llegar a una solución que no es la más adecuada.

Segundo método. Consiste en cambiar todos los factores a la vez, así se tienen en cuenta las interacciones entre ellos. Este segundo método no asegura cuál de los posibles factores tiene más efecto en el resultado ya que hemos combinado varios. Es posible que alguno de ellos no fuera importante, pero lo trataremos como si lo fuera.

Tercer método. Tiene en cuenta los efectos de cada factor, de forma aislada, y de varios factores combinados, este método representa la base del DOE. El método de cambiar varias cosas a la vez suele ser el más habitual. Una vez identificadas las causas de un mal funcionamiento del proceso, la solución es inmediata: actuar sobre las causas y comprobar los resultados. Sin embargo no podemos asegurar si alguna de las actuaciones no tiene efecto en el resultado, ya que estamos viendo el resultado de todas las actuaciones a la vez. Es posible que alguna actuación sea negativa y no apreciar este efecto en el resultado global.

El plan formal para realizar el experimento se llama “diseño experimental” o “modelo experimental”.

La terminología del DOE es bastante similar a la empleada anteriormente. La variable dependiente se representa por Y mientras que las variables independientes son representadas por las X's. Estas variables además se conocen como factores. En todos los casos, un factor debe ser tratado como una variable discreta. Los efectos principales son los cambios en la variable de respuesta Y observada al cambiar un factor de un nivel a otro.

Un experimento consiste en una sola combinación de niveles de cada factor que proporciona una o más observaciones de la variable de salida. Un bloque de experimentos es una combinación de todos los factores en todos los niveles. El número de combinaciones de experimentos en un bloque es igual al producto del número de niveles de cada factor.

El tratamiento consiste en un nivel asignado a un factor durante los experimentos.

Un DOE equilibrado tienen el mismo número de tratamientos en el nivel bajo que en el nivel alto de cada factor. Un diseño equilibrado es un diseño en el que cualquiera de los factores se repite el mismo número de veces para todas las posibles combinaciones que afectan a los niveles de los demás factores. Se pueden realizar comprobaciones utilizando herramientas como la correlación.

Un diseño desequilibrado es aquel en el que cada nivel experimental de cualquiera de los factores no se repite el mismo número de veces para las combinaciones que afectan a los niveles de los demás factores.

Los pasos para desarrollar un DOE son los siguientes:

1. Definir el objetivo.
2. Formular la hipótesis.
3. Seleccionar la Y del proyecto.
4. Seleccionar las X's.
5. Seleccionar los niveles de prueba para cada X.
6. Evaluar los riesgos del experimento.
7. Seleccionar el diseño.
8. Realizar los experimentos y recopilar los datos.
9. Representar un gráfico de los efectos principales.
10. Dibujar un gráfico de los residuos procediendo a su análisis.
11. Desarrollar el modelo de predicción.
12. Extraer conclusiones realizando pruebas de confirmación.

4.4.2. Generación de soluciones

Cuando las causas de la variabilidad del proceso no son factores de funcionamiento del proceso o de sus entradas que podamos probar y modificar mediante un diseño de experimentos, la mejora ha de pasar necesariamente por modificaciones al proceso actual que denominaremos soluciones.

Estas soluciones suponen realizar las actividades o tareas del proceso de forma diferente a la actual pero, a diferencia del DOE, en este caso no podemos modificar parámetros para observar los resultados, sino que hemos de cambiar algo en el proceso y comprobar cómo funciona ante dicho cambio. La naturaleza de los cambios a aplicar dependerá de las causas que hemos comprobado.

En ocasiones las posibles mejoras consisten en optimizar el flujo de un proceso, reduciendo la duración o el coste de las actividades, modificando la secuencia de las mismas, para ello se debe utilizar el mapa de proceso. Otras veces las mejoras no consisten en modificar el flujo de un proceso, sino en comprender cómo está funcionando y cómo podría funcionar si se hicieran determinados cambios, para ellos veremos una serie de herramientas relacionadas con el desarrollo de la creatividad.

A medida que se progresa en la fase Mejorar, es preciso asegurarse que el equipo sigue centrado en la lista de X's críticas desarrollados en la fase Analizar. La creatividad es positiva, pero sólo solucionará el problema si se enfoca hacia las causas conocidas y comprobadas.

En las fases anteriores se ha tratado como utilizar el mapa del proceso para identificar las fuentes de variación del proceso y para recoger los datos. Ahora en la fase Mejorar, se debe volver a trabajar con el diagrama de flujo

para solventar los problemas relacionados con el flujo del proceso o, al menos, para identificar los cambios necesarios para que el proceso tenga un flujo más lógico, más adecuado a la creación de valor para el cliente, a proporcionar un resultado acorde con los requisitos del cliente.

Como resultado de las fases anteriores tenemos identificado las causas que originan el funcionamiento incorrecto, por lo que modificaremos las actividades para eliminar o minimizar el impacto de dichas causas y crearemos un flujo diferente, tal como debe funcionar el proceso para que el resultado satisfaga los requisitos.

Cuando se trata de identificar posibles soluciones prácticas a un problema, una de las maneras más fáciles de generar alternativas es mediante una tormenta de ideas. Las personas implicadas tienen la sensación de que las posibles soluciones de mejoras deben ser generadas a través de herramientas técnicas o estadísticas, tales como las comentadas cuando las causas de variabilidad son factores.

Para este tipo de soluciones tendremos que utilizar herramientas que no tengan un contenido técnico importante pero que proporcionan mejoras importantes. Si la causa probada de un problema es la falta de estandarización no existe herramienta estadística para estandarizar el proceso. Tendremos que definir cuál es la forma de hacer las tareas y facilitar instrucciones para que todas las personas que participan en el proceso tengan conocimiento de cómo realizar las tareas.

Independientemente de la herramienta utilizada, la clave del pensamiento creativo es no permitir que ninguna de las reglas que rigen la situación actual obstaculice la creatividad. Es importante que el equipo colabore para cuestionar cada decisión propuesta e intentar definir los supuestos o reglas que generen una solución innovadora.

Con mayor o menor desarrollo, según países y sectores, el benchmarking está siendo un método que permite compartir información sobre el funcionamiento y resultados de los procesos, con otras organizaciones que han alcanzado un nivel de resultados (indicadores) reconocidos como excelentes.

En primer lugar se trata de identificar él y los procesos comerciales internos con empresas externas, la mayoría de las empresas han desarrollado procedimientos para controlar y dirigir su participación en las visitas de externos. Antes de planificar una visita a la empresa, se debe proponer a la dirección de la empresa sus propios métodos de actuación y procedimientos.

Por último será necesario personalizar a nuestro proceso en la medida de lo posible, las ideas obtenidas de la observación anterior. Cada organización tiene sus propias características y no siempre es posible aplicar directamente la manera de gestionar un proceso de esta empresa.

Una herramienta utilizada por muchas organizaciones tiene el nombre de work – out. Esta herramienta consiste en plantear preguntas a las personas que participan normalmente en el desarrollo de un proceso y escuchar sus respuestas.

4.4.3. Evaluación de riesgos.

Antes de hacer modificaciones al proceso, incluso aunque sea sólo para experimentación, es preciso asegurarse de evaluar los riesgos potenciales.

La evaluación de riesgos consiste en plantearse cómo puede afectar la alternativa de mejora a las partes interesadas que intervienen en el proceso.

Posiblemente algunas mejoras podrán tener dificultades de implantación debido a este tipo de riesgos.

La evaluación de riesgos significa identificar y analizar riesgos, así como planificar e implantar actividades para reducir el riesgo. Para completar el proceso de gestión de riesgos, se debe hacer un seguimiento de la resolución de las actividades identificadas para mitigar el riesgo.

Se debe evaluar el riesgo en varias fases de la metodología Seis Sigma. Esta fase se centra en el riesgo asociado a probar la solución. Una vez que se ha seleccionado una solución, se volverá a utilizar la metodología para identificar los riesgos asociados al proyecto piloto y a la implantación total. La implementación con éxito de cualquier cambio en las actividades de un proceso ha de ser evaluado bajo dos aspectos, la calidad técnica de la solución y la aceptación de la solución. Los riesgos posibles han de buscarse en ambos tipos de soluciones.

La herramienta AMFE fue utilizada en la fase Medir para vincular las causas a los fallos del proceso y a sus efectos, identificando de este modo las X's potenciales. En la fase Mejorar se trata de evaluar nuevamente los tres factores: severidad, ocurrencia y detección, teniendo en cuenta que el proceso funcionaría de forma diferente, aplicando las soluciones de mejora que se hayan podido generar. Las acciones más eficaces serán aquellas que reducen en mayor medida el número de probabilidad de riesgo obtenido en la fase Medir.

4.4.4. Prueba de alternativas.

Para probar soluciones es necesario determinar el mejor método para realizar el experimento y para recopilar los datos para cada posible solución.

La prueba piloto es una prueba de la totalidad o de una parte de la solución propuesta, a pequeña escala, para conocer mejor sus efectos y para saber cómo hacer más efectiva su aplicación a gran escala. Para llevar a cabo estas pruebas se pueden probar elementos aislados de la solución si hay un número suficiente, también se pueden probar soluciones completas probando la solidez. A la hora de realizar una prueba piloto será necesario tener en cuenta los riesgos que antes se han identificado. De igual modo pueden afectar de a la implantación de las alternativas de mejora, es posible que puedan dificultar el desarrollo de la prueba, aunque al tratarse de una prueba las personas puedan aceptar más fácilmente las nuevas o diferentes actividades. Por otra parte, también es posible que al tratarse de una prueba, las actividades se realicen de forma diferente de las que, posteriormente, se vayan a aplicar si se implantan definitivamente las mejoras. El equipo de mejora debe estar presente tanto tiempo como sea posible durante el proceso de realización de la prueba de piloto; lo que averigüen y observen compensará el tiempo que empleen. Es importante que se recojan datos sobre los factores del proceso y sobre los factores externos que pueden influir. Si es posible, asegurarse que en la prueba piloto se prueba toda la gama de entradas y condiciones del proceso.

Por último se deben identificar las diferencias críticas entre el entorno de la prueba piloto y el entorno de la aplicación a gran escala; se deben tomar anotaciones de las posibles cuestiones o problemas del plan a gran escala.

Otra herramienta para la prueba de alternativas es la simulación, esta herramienta consiste en utilizar un modelo del proceso para describir relaciones e interacciones entre las variables (X's e Y's). La simulación constituye un modelo informático que describe relaciones e interacciones que determina cómo el resultado del proceso Y responderá ante cambios en su estructura, en sus entradas o en sus X's circundantes.

Mediante el uso de la simulación se puede:

- Identificar las interacciones y los problemas concretos que se producen en un proceso existente o propuesto.
- Desarrollar un modelo realista de un proceso con una posible utilización posterior.
- Predecir el comportamiento del proceso en diferentes condiciones.
- Optimizar el funcionamiento del proceso.
- Crear una historia artificial del funcionamiento del sistema o proceso.
- Documentar visualmente el comportamiento del proceso.
- Evaluar el resultado del proceso en una serie de condiciones de entrada distintas de la aplicación.
- Identificar problemas concretos dentro de un proceso.

4.4.5. Selección de alternativas.

La selección de alternativas permite determinar los métodos para seleccionar las alternativas de mejora más eficaces para conseguir los resultados esperados. Una de las herramientas principales para la selección y evaluación de alternativas son las matrices.

Los criterios imprescindibles son aquellos requisitos mínimos que se deben cumplir para la solución elegida, si una solución no cumple los criterios obligatorios, debería eliminarse para los pasos posteriores.

Un método para identificar y establecer criterios obligatorios es formularlos de acuerdo con el desarrollo del proyecto y clarificarlos con el equipo. Resulta útil establecer, comprender y acordar unos criterios obligatorios con todas las partes involucradas en el proyecto de mejora.

La matriz de selección consiste en desarrollar una lista de criterios obligados que se utilizarán para evaluar y seleccionar la solución que mejor se adapte a su rendimiento y requisitos de negocio.

Todas las soluciones que llegan a esta fase cumplen los criterios obligatorios establecidos para la solución de mejora. Los criterios utilizados para esta matriz deben ser criterios deseados. Una vez que se ha generado la lista de criterios deseados se identifican los principales deseados identificándolos con un 10.

Un tipo de matriz es la de análisis de esfuerzo / beneficio que puede ayudar al equipo a evaluar las soluciones propuestas en relación a la cantidad de esfuerzo que requiere cada una de ellas en comparación a los beneficios que se esperan.

Fase	Objetivos	Enfoque	Herramientas
Analizar	Estrategia de mejora y solución propuesta	<p>Seleccionar la estrategia de mejora.</p> <p>Generar soluciones tanto si las variables son factores como alternativas</p> <p>Evalué los posibles riesgos y confirme los resultados experimentales.</p> <p>Establezca acciones para mitigar los riesgos</p>	<p>Mapa de proceso</p> <p>Diagrama de Flujo</p> <p>Generalmente útil:</p> <p>Diseño de simulación de experimentos DOE</p> <p>Gráficas de Control</p>
	Selección la mejor solución	Realizar un análisis coste beneficio de la mejor solución.	

Figura 23. Esquema general Mejorar.

4.5. CONTROLAR.

El objetivo de esta fase es comprender el autocontrol como forma de asegurar en el tiempo, los resultados obtenidos en el proyecto. Uno de los objetivos es establecer un plan de control del proceso mejorado. El autocontrol consiste en que los empleados conozcan lo que se espera que hagan, es decir, los objetivos están claramente definidos y son visibles. De esta forma los empleados saben lo que están rindiendo en relación a los objetivos. Se miden sus resultados y tienen una sensación clara de su rendimiento. Los empleados de esta forma tienen la capacidad y los medios para regular los resultados del proceso. Necesitan un proceso adecuado con las herramientas y métodos correspondientes así como la formación y la autoridad necesaria para regularlo.

Además de proporcionar las condiciones óptimas para el control y funcionamiento del proceso, la implantación del autocontrol tiene un impacto positivo significativo sobre el entorno de trabajo y los individuos que lo componen.

Siempre que sea posible, el diseño del sistema de control de calidad debe reforzar el autocontrol por parte de las fuerzas operativas. Este tipo de diseño proporciona un bucle de retroalimentación más corto. Sin embargo este bucle supone que se debe garantizar que la capacidad del proceso es la adecuada para alcanzar los objetivos de calidad del servicio.

El autocontrol implica que las personas operativas comprenden los elementos básicos de su trabajo y que están motivadas para emplear esfuerzos de cambio y mejora de los resultados de su trabajo. Para que el autocontrol sea eficaz, se debe conceder a las personas la autoridad y la posibilidad de realizar el trabajo y, al mismo tiempo, ser responsables de que éste se lleve a cabo.

Los criterios de autocontrol se pueden aplicar a los procesos en todas las funciones y a todos los niveles, desde el alto directivo hasta el empleado de menor responsabilidad. En la práctica, hay muchos detalles por resolver antes de que, realmente, puedan cumplirse los requisitos, algunos de ellos son los siguientes:

- Medios para saber lo que deben hacer, este criterio se cumple estableciendo y publicando los objetivos de calidad y los estándares de control.
- Medios para saber si su rendimiento actual cumple los estándares. Este criterio se cumple estableciendo el sistema de medida y comparación con los estándares de control.
- Medios para cambiar su rendimiento. Para cumplir este criterio se requiere un proceso operativo que sea capaz de alcanzar los objetivos y tenga unas características que permitan que las fuerzas operativas cambien el rendimiento según sea necesario para que esté en concordancia con los objetivos.

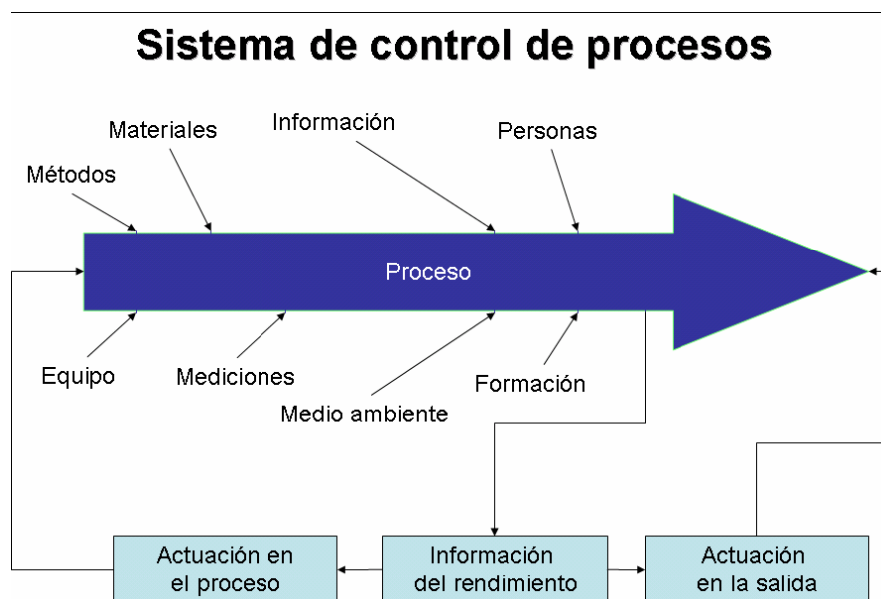


Figura 24. Sistema de control de procesos.

Los sujetos de control pueden ser muy numerosos, por esta razón puede resultar difícil para el equipo decidir exactamente qué sujetos de control seleccionar. En este punto del proyecto, el equipo está listo para identificar los sujetos de control más críticos.

Los procesos operativos están influenciados por numerosas variables, sin embargo suele ocurrir que una variable es más importante que todas las demás combinadas, este tipo de variable son las dominantes.

Una revisión de numerosos puntos de control, muestra que suelen estar seleccionados para proporcionar evaluaciones y / o advertencias tempranas en las situaciones siguientes:

- Al producirse cambios de autoridad, donde la responsabilidad se transfiere de una organización a otra.
- Antes de embarcarse en alguna actividad significativa e irreversible.
- Después de crear una característica de calidad crítica.
- A la vista de variables dominantes del proceso.
- En áreas que permiten realizar una evaluación económica.

El diagrama de flujo del proceso es una herramienta muy eficaz para identificar los puntos de control dentro de las áreas o grupos de actividad.

El bucle de retroalimentación es la herramienta para monitorizar el rendimiento real de un proceso y conservar su rendimiento tal y como fue diseñado. El flujo de información y acción dentro de un bucle de retroalimentación es el siguiente:

- El rendimiento del proceso operativo se mide en primer lugar.

- Los resultados u outputs del proceso se comparan con los estándares de control establecidos o los objetivos de control. La herramienta utilizada para medir el proceso se denomina sensor.
- Se toma una decisión sobre si hay una correspondencia adecuada entre el proceso y el objetivo establecido. Si el rendimiento supera o cumple el estándar del proceso significa que el proceso sigue avanzando.
- Cuando el rendimiento no alcance el objetivo, el responsable iniciará un proceso de solución identificando el problema, diagnosticando las causas e iniciando una serie de actividades que adapten el proceso y restaurando el cumplimiento de tal forma que el rendimiento fuera el anterior a las modificaciones.

Todo el control desarrollado se centra alrededor de cosas específicas para controlar, llamadas “sujetos de control”. Éstos son el punto central de un bucle de retroalimentación. Los sujetos de control son una mezcla de:

- Características del producto.
- Características del proceso.
- Características de los efectos secundarios.

Bucle de retroalimentación

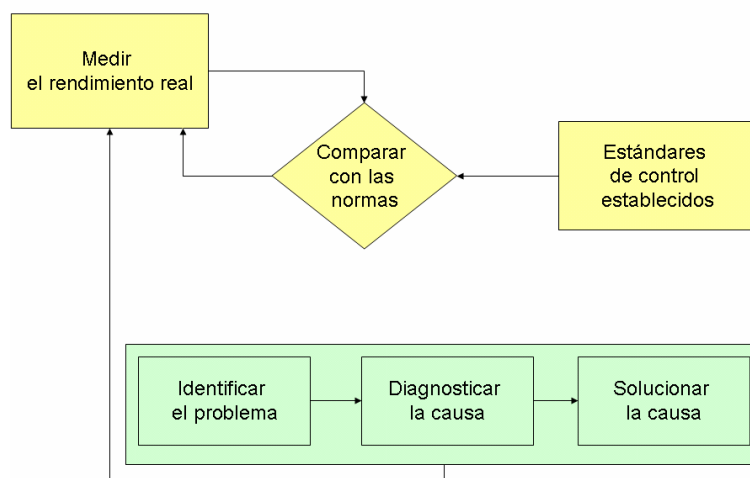


Figura 25. Bucle de retroalimentación.

4.5.1. Métodos estadísticos del control de procesos.

El objetivo de este apartado consiste en:

- Conocer el control estadístico de procesos y cómo se utiliza.
- Identificar varios gráficos de control y sus aplicaciones.
- Interpretar los modelos de variación e identificar la situaciones en que el proceso está fuera de control.
- Estar en disposición de aplicar el CEP para el control de cualquier proceso.

Los resultados del proceso tienen variaciones originadas por dos tipos de causas, las causas comunes o aleatorias y las causas especiales o asignables. Las causas comunes o aleatorias, se refieren a las muchas fuentes de variación que están en el proceso y que hacen que su resultado tenga una distribución estable y repetible a lo largo del tiempo. Las causas especiales o asignables se refieren a factores de variación que no están siempre presentes en el proceso. Cuando intervienen dichos factores la distribución del proceso cambia a lo largo del tiempo, el proceso se torna inestable.

Cuando el proceso está afectado solamente por sus causas comunes de variación, se dice que está bajo control estadístico. Este proceso tiene un resultado predecible.

Si el proceso está afectado, además de por sus causas comunes, por alguna causa especial, deja de ser estable, es decir, es un proceso fuera de control cuyo resultado es imprescindible.

El CEP es un método de control de los procesos, basado en el tratamiento estadístico de los datos que permite estudiar la variabilidad de los procesos

y determinar cuándo aparecen cambios que justifiquen llevar a cabo una intervención para corregirlos.

Cuando un proceso está funcionando bajo control, y no presenta síntomas o tendencias en sus resultados, la decisión más acertada es dejarlo funcionar, sin actuar sobre las variables de funcionamiento. Si el proceso se ve afectado por causas especiales la decisión acertada es intervenir en el proceso, actuando sobre dicha causa especial. En el caso de no detectar esta causa tendremos un control deficiente.

El CEP funciona mediante la comparación gráfica del resultado actual del proceso respecto a unos determinados valores o límites que corresponden a la variabilidad natural del proceso. Estos límites son los llamados límites de control (superior e inferior). La hipótesis nula de este control (H_0) es que el proceso está funcionando dentro de su patrón de variación natural. Al comparar el resultado actual con los límites existen una serie de señales, conocidas como situaciones fuera de control, que permiten rechazar la hipótesis nula y concluir que el proceso ha cambiado su patrón de variación y es necesario por lo tanto investigar la variable especial aparecida para actuar sobre ella y reconducir al proceso hacia su patrón de variación natural.

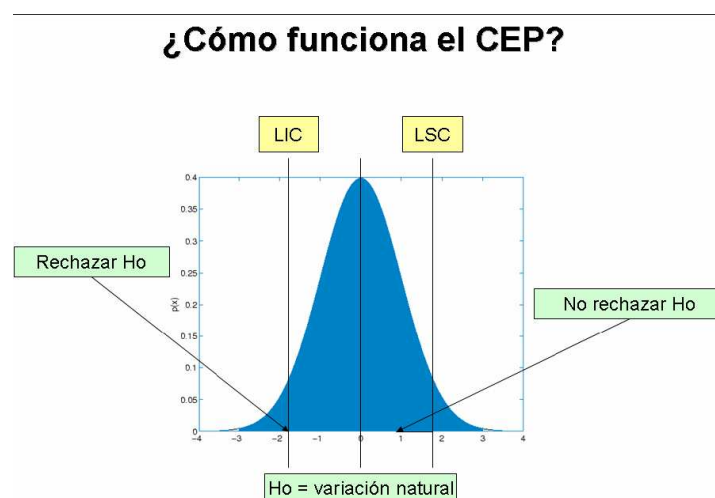


Figura 26. Control Estadístico de Procesos.

Al utilizar CEP se van tomando muestras de la variable o atributo del proceso a lo largo del tiempo y se representa el estadístico en el gráfico correspondiente, en el que figuran la tendencia central y los límites de control, previamente calculados. En función de las señales que luego comentaremos, se determina si el proceso está variando de acuerdo con su patrón de variación natural (H_0), lo que indica que solamente están interviniendo las causas comunes de variación, o si la variación del proceso ha cambiado de patrón (H_a) lo que indica que ha aparecido alguna causa especial a investigar, y corregirla si procede.

La variable en estudio puede ser continua o discreta y por tanto el estadístico que se va a utilizar para el control será adecuado a ese tipo de variable.

En general, los estadísticos que se utilizan, el caso de variable continua están relacionados con la tendencia central de la variable y con la dispersión de las variables.

En el caso de variables discretas o atributos, los estadísticos que se utilizan son la proporción de sucesos determinados respecto al total de la muestra observada.

Para el control de características que se expresan mediante datos continuos o variables, se utilizan dos tipos de gráficos, los de media y dispersión (recorrido o desviación estándar) y los de individuos y recorridos móviles. Los primeros se utilizan cuando el proceso permite obtener muestras de varias unidades y trabajan con la media de los datos de dicha muestra y con la desviación estándar o recorrido. Los segundos se utilizan cuando el proceso solo permite obtener muestras de varias unidades y trabajan con el valor individual del dato y con la diferencia entre dicho valor y el de la muestra anterior.

En ambos casos los gráficos tienen dos zonas a estudiar, la zona de medias o individuos que estudia la tendencia central del proceso y la zona de desviaciones, que estudia la dispersión del proceso.

Para el control de características que se expresan mediante datos discretos o atributos, también se utilizan dos tipos de gráficos, los de unidades defectuosas y los de defectos. Los primeros se utilizan cuando el objetivo de control del proceso es la cantidad de unidades defectuosas que se están produciendo, bien sea mediante dicha cantidad o mediante la proporción de unidades defectuosas en la muestra observada. El primer tipo exige que el tamaño de la muestra sea siempre el mismo, para poder hacer comparaciones, por lo que suele ser menos utilizado. Los segundos se utilizan cuando el objetivo de control del proceso es la cantidad de defectos que está produciendo, bien sea mediante la cantidad de defectos totales o mediante la tasa de defectos por unidad producida.

La muestra inicial que va a permitir construir gráficos de control, ha de ser representativa del proceso, teniendo en cuenta sus fuentes de variación. Para ello se establecen unos subgrupos y se van tomando las muestras a lo largo del tiempo suficiente para que se puedan tener en cuenta todas las fuentes de variación del proceso.

Constituye un aspecto importante que los subgrupos sean tomados a lo largo de diferentes días y momentos. Para calcular las líneas del gráfico central se obtienen estadísticos adecuados como son la media de las medias de los subgrupos y el recorrido medio de los subgrupos.

Los límites de control están basados en una estimación de la desviación estándar de los valores, estimación que se realiza a partir del recorrido

medio y unos coeficientes que dependen del tamaño de muestra de los subgrupos.

Al igual que en el gráfico de medias, el de individuos tiene dos zonas, la de valores y la de recorridos. Las fórmulas para calcular los límites, también están basadas en una estimación de la desviación estándar a través de unos coeficientes que al tratarse de un tamaño de muestra unidad son fijos.

En el caso de los gráficos de atributos no existen dos zonas ya que no tiene sentido el concepto de recorrido muestral. Con independencia de que se trabaje con defectos en el proceso, la línea central será el estadístico medio, que para abreviar hemos representado como la proporción media y los límites de control, en este caso se obtienen directamente como tres veces la desviación estándar del estadístico que estamos observando.

Una vez contruidos los gráficos de control, el paso siguiente es poner en marcha el control, es decir, tomar la muestra a intervalos definidos, calcular el estadístico que controlado llevando los resultados al gráfico de control para interpretar dicho resultado.

Para interpretar los gráficos de control, es decir, para conocer si el proceso está funcionando bajo control o si han aparecido condiciones especiales, se utilizan las condiciones fuera de control o puntos de fuera de control (PFC). Para identificar las condiciones que reflejan los PFC debemos dividir la zona de medias del gráfico de control en tres zonas.

En los gráficos de control pueden darse los siguientes casos:

- Caso 1: un punto aislado fuera de los límites de control. Suele ser consecuencia de un fenómeno especial no controlable.

- Caso 2: dos de tres puntos en la zona fuera de los límites. Es posible que alguno de los elementos de regulación del proceso haya modificado su comportamiento originando un rango de dispersión mayor del habitual.
- Caso 3: cuatro de cinco puntos fuera de los límites. Es probable que sea consecuencia de una causa especial que haya originado una variación no aleatoria de alguna de las causas comunes de variación, puede implicar un comportamiento a vigilar.
- Caso 4: series largas, de 7, 8 o más puntos a un mismo lado de la línea central. Es una señal típica de cambio de comportamiento del proceso correspondiente a una reducción de la variabilidad de las causas comunes.
- Caso 5: 6 puntos seguidos que muestran crecimiento o decrecimiento continuo. La fatiga, los desgastes o envejecimiento de materiales suelen producir señales de este tipo.
- Caso 6: falta de puntos en la zona central en ocho puntos consecutivos. Puede tratarse de sesgos en el muestreo o en la variación o la utilización de un mismo gráfico de control para dos procesos con pautas de variación diferentes.
- Caso 7: series largas (15 puntos o más) en la zona central Es un caso típico de reducción en la dispersión de las entradas del proceso por mejoras en los procesos anteriores o en los proveedores.

Los ciclos, aunque no sean una de las señales más fiables de condiciones de fuera de control, suelen aparecer por una serie de motivos que afectan a las causas comunes de variación, que pueden ser:

- Efectos relacionados con la estacionalidad o el tiempo.
- Rotación del personal en el puesto.
- Diferencia entre los métodos de medición utilizados.
- Fluctuación de una variable.

- Diferencia habitual entre los turnos de trabajo.

En ocasiones, un gráfico de control puede indicar una condición que lleva a conclusiones equivocadas. Este fenómeno se verá minimizado por el conocimiento del proceso y por el plan de muestreo. Puede ocurrir de dos modos:

- El gráfico está controlado pero el proceso está fuera de control. Suele suceder cuando no se estratifican bien los datos, si las muestras corresponden a estratos diferentes, la amplitud de los límites de control puede enmascarar la inestabilidad en cada estrato. Puede que el proceso en cada turno, sea inestable pero que el gráfico combinado haga que parezca estable.
- El gráfico está fuera de control pero el proceso es estable. Sucede cuando se utilizan todas las opciones para identificar puntos fuera de control, ya que se aumenta la probabilidad de ver un punto de fuera de control en un proceso estable.

4.5.2. Sistema a prueba de errores.

Esta herramienta presentará la utilidad de los mecanismos a prueba de errores para evitar o detectar los errores humanos.

Estos errores pueden tener su origen en:

- Olvidos.
- Malentendidos.
- Errores en identificación.
- Falta de formación y / o normas.
- Errores intencionados o accidentes.
- Retrasos en la decisión.

Los niveles del sistema a prueba de errores permiten impedir que sucedan los errores (situación muy buena), o avisar del posible error antes de que se produzcan (situación buena) o detectar el defecto cuando ya se ha producido (situación regular). Para ello se debe:

- Impedir el error, mediante mecanismos o dispositivos que impiden que se cometa un error inadvertidamente.
- Prevenir el error, mecanismos o dispositivos que avisan de la posibilidad de cometer un error.
- Detectar el error, mecanismos o dispositivos que detectan precozmente el error que se ha cometido. El sistema a prueba de errores permite abordar de forma activa reduciendo el número de defectos al eliminar la oportunidad para que el defecto se llegue a crear.

Se utilizarán técnicas a pruebas de errores cuando haya:

- Pasos del proceso que requieran la intervención humana.
- Puntos de decisión en el proceso.

Tareas repetitivas para las que se requiere la manipulación física de objetos.

- Pasos en los que se sepa que se producen errores.
- Oportunidades para que se produzcan errores predecibles.

4.5.3. Métodos de las 5'S

Las técnicas 5 S tienen su origen en Japón y en la aplicación a procesos de manufactura, en los que intervienen máquinas herramientas. El atractivo de este método reside en la definición de causas comunes de los procesos que, aunque no sean determinantes, se encuentran en determinados

aspectos del entorno de trabajo que, aplicando estas técnicas disminuyen su efecto en la variabilidad.

Las fases son las siguientes:

- Suprimir. Deshacerse de todo aquello que no es necesario para el desarrollo del proceso, para mejorar la efectividad se deben clasificar las cosas según el grado de necesidad.
- Ordenar. Después de suprimir las cosas no necesarias, las clasificadas como necesarias deben estar correctamente ordenadas.
- Limpiar. La limpieza regular proporciona una oportunidad para reducir los problemas.
- Estandarizar. Establecer guías para eliminar todas las causas de desorden.
- Mantener. Auditar las 5 S del puesto de trabajo.

La aplicación típica de las 5 S en la empresa, consiste en realizar, como primer paso un primer diagnóstico de la situación relativo a la eliminación de las cosas no necesarias y el orden y limpieza del entorno de trabajo. Frente a una situación de perfección que supone la valoración máxima, se evalúan los distintos aspectos relacionados con las 5 S,

A partir de este diagnóstico se realizan las actividades necesarias para:

- Eliminar las actividades no necesarias del puesto de trabajo.
- Ordenar materiales, herramientas o documentos necesarios en el puesto de trabajo.
- Limpieza y orden de los puestos de trabajo.
- Una vez realizada la primera revisión general y disponiendo de un entorno ordenado y limpio, se planifican las actividades necesarias para

estandarizar la aplicación de las 3 S y para auditar periódicamente que el orden y limpieza alcanzados se mantienen.

Fase	Objetivos	Enfoque	Herramientas
Controlar	Diseñar un sistema de control del proceso	Oportunidades de autocontrol. Control rutinario de procesos.	DEBE TENER Plan de control Reporte de cierre del proyecto
	Aplicar las soluciones de forma definitiva	Aplicar mecanismos a prueba de errores. Aplicar a los métodos de trabajo y formación de las personas afectadas. Asegurar la implantación de los cambios	Resumen general. GENERALMENTE UTIL Control Estadístico del proceso.
	Completar el informe del proyecto y cerrarlo	Documentar los trabajos. Revisar el cuadro de proyecto para cerrarlo.	Prueba de errores

Figura 27. Esquema general Controlar.



ANEJO Nº 2

METODOLOGIA DMAIC APLICADA AL PROYECTO

INDICE.....METODOLOGIA DMAIC APLICADO AL PROYECTO

1. Definición.	129
1.1. Identificación del problema.	129
1.2. Requerimientos del cliente. Objetivos.	129
1.3. Mapa de la cadena de valor.	130
2. Medidas.	130
2.1. Análisis del sistema de medición.	130
2.2. Plan de toma de datos.	131
2.3. Estudio R&R del instrumento de Medición. Caudalímetro.	132
3. Análisis.	135
3.1. Análisis de los datos.	135
4. Mejora.	141
4.1. Acción de Mejora 1. Optimización del régimen de purgas de Caldera.	143
4.2. Acción de Mejora 2. Reducción de pérdidas en trampas de Vapor.	148
4.3. Acción de Mejora 3. Reducción del consumo de agua del sistema de muestreo del ciclo agua/vapor.	156
4.4. Acción de Mejora 4. Mejora del proceso de arranque	167
5. Control.	179
5.1. Resultados finales.	18

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. SIPOC Proceso.	130
Figura 2. Resultados estudios R&R.	133
Figura 3. Grafico de Control.	135
Figura 4. Grafico de Control Reducido.	136
Figura 5. Gráfico de recorrido.	137
Figura 6. Capacidad de Proceso.	138
Figura 7. Diagrama Causa- Efecto.	139
Figura 8. Grafico Circular de Consumos.	140
Figura 9. Diagrama de Pareto.	142
Figura 10. Válvulas de purga de Caldera.	146
Figura 11. Trampas de balde invertido.	151
Figura 12. Válvulas automáticas de purga de vapor.	155
Figura 13. Diagrama de puntos de dosificación química en ciclo.	164
Figura 14. Analizadores en Continuo de Vapor.	165
Figura 15. Incremento térmicos en Calderas durante arranques.	172
Figura 16. Estrés térmico durante parada.	172
Figura 17. Averías en Caldera.	173
Figura 18. Distribución Térmica.	174
Figura 19. Tabla de especificaciones Calidad de Materiales tubos Caldera.	176
Figura 20. Tabla comparativa de incrementos térmicos.	177
Figura 21. Capacidad final del proceso.	180

1. Definición.

1.1. Identificación del problema.

El ciclo tiene un elevado consumo de agua desmineralizada, se requiere de un plan de acción para disminuir el consumo del 2% del MCR al 0.5-0.7%. Cada 0.1% de aumento de consumo de agua significan que los costes de generación de electricidad en calor perdido, agua extra y consumo de productos químicos se estiman a 120000 euros

1.2. Requerimientos del cliente. Objetivos.

Se puede considerar una evaporación mínima de diseño del 0.5-0.7% para esta caldera, y en comparación con los datos de consumo de otras plantas de ciclo combinado similares, lo que hace que nuestra planta sea menos competitiva, aumentando nuestros costos de producción, obteniendo menos adjudicaciones en el Mercado eléctrico.

Ciertamente, se ha de tener en cuenta el envejecimiento de la planta en estudio de 10 años y al estilo de operación a la que se le ha sometido con una media de 95 arranques anuales, lo que somete al generador de vapor a condiciones de estrés térmico continuo por lo que en principio no se puede esperar llegar a consumos de agua mínimos. El estilo de operación produce fugas en los haces tubulares de caldera que hacen que aumente el consumo drásticamente y disminuyan las horas de operación efectiva debido a las reparaciones de la misma, lo que también hace que disminuya la cuenta de resultados de la planta.

1.3. Mapa de la cadena de valor.

El alcance del estudio empieza en la fabricación de agua desmineralizada de planta, consumos de agua en ciclo de agua/vapor, análisis de los ciclados del grupo, perdidas por pinchazos en caldera.

Posteriormente se analizó el proceso por medio del SIPOC. Con ayuda del grupo de trabajo se logró determinar las entradas, salidas, proveedores, y clientes del proceso con esto se logró enfocar debidamente los esfuerzos

En la fase de definición, un diagrama de proceso tipo SIPOC (Supplier, input, process, output, customer) se dibujo para el ciclo de consumo de agua.

Suministrador	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Planta de Agua Demin	Datos del consumo de Agua demin diario	Practicas de Operación y Mantenimiento	Reducción consumo de Agua demin diario	Dirección de la Central térmica

Figura 1. SIPOC Proceso

2. Medidas

2.1. Análisis del sistema de medición.

En un ciclo de medición de consumo de agua desmineralizada en una central de ciclo combinado, el consumo es medido por un caudalimetro en la línea de aporte de agua al ciclo agua vapor, que transmite la señal a la estación de operación, y mediante esta el operador de panel

diariamente tomará la medida de la media diaria, Este caudalimetro deberá estar calibrado según las normas establecidas a fin de evitar errores.

2.2. Plan de toma de datos.

La toma de datos se realizo durante un periodo de 6 meses. Los datos tomados en metros cúbicos son convertidos a porcentaje de la Potencia máxima continua (MCR) que es la capacidad de la caldera de vapor para producir y proveer la cantidad indicada de vapor continua y sin ningún tipo de perdida en la caldera de vapor principal y sus componentes.

2.3. Estudio R&R del instrumento de Medición. Caudalimetro.

El estudio R&R es una herramienta muy buena para saber que tan preciso es el instrumento y el operador encargado de tomar los datos, pues siempre hay diferencias de manejar un instrumento o realizar un análisis.

El estudio R&R permite evaluar la repetitividad (equipo) y reproductibilidad (analista) de forma separada. Trata de evaluar en forma experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición y cuantificar si el error es mucho o poco, comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide.

Repetitividad.- Proximidad entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma medición (es lo que vas a medir como la altura, la

temperatura, peso, concentración etc.), realizadas bajo las mismas condiciones de medición. (Aplicación de un mismo procedimiento, a un mismo objeto, por el mismo operador, en intervalos cortos de tiempo, con el mismo equipamiento instrumental, en el mismo lugar).

Reproducibilidad.- Proximidad entre los resultados de mediciones de un mismo mesurando, realizadas bajo distintas condiciones de medición; analistas, proveedores, reactivos, días, equipos, etc.

Para comprobar la veracidad de los datos aportado por nuestro instrumento, previo al inicio del muestro, se colocó paralelo otro instrumento de similares características. Durante 10 días se tomaron los caudales de cada instrumento y dos lecturas fueron tomadas en cada día por dos operadores distintos, uno durante el turno de día y otro durante el turno de noche, realizando un total de 40 lecturas. El estudio R&R resultó dar una variabilidad del 1,51%, con lo que al ser menor del 10%, con lo que el proceso de medición es aceptado para la toma de datos del estudio.

Datos	Caudalimetro 1		Caudalimetro 2	
Día 1	4,9	4,91	4,85	4,86
Día 2	4,83	4,83	4,91	4,92
Día 3	4,85	4,86	4,88	4,89
Día 4	4,86	4,87	4,90	4,91
Día 5	4,91	4,86	4,87	4,88
Día 6	4,88	4,89	4,89	4,87
Día 7	4,89	4,91	4,92	4,90
Día 8	4,87	4,85	4,86	4,87
Día 9	4,85	4,88	4,89	4,89

Día 10	4,86	4,86	4,88	4,88
--------	------	------	------	------

Gráficos obtenidos de Minitab.

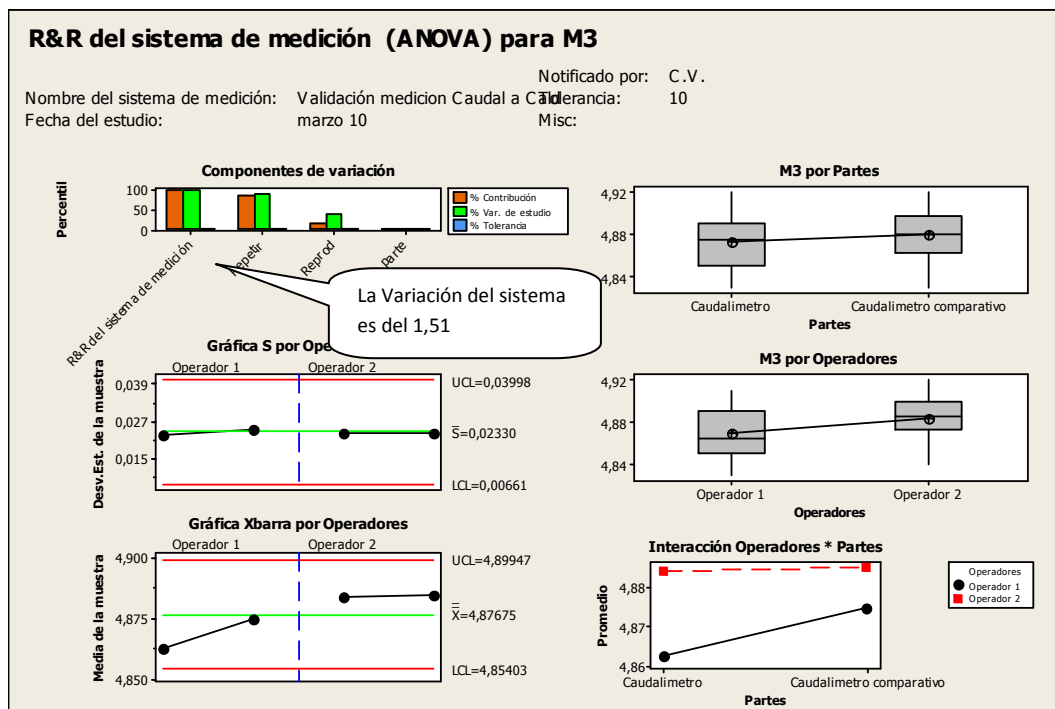


Figura 2. Resultados estudios R&R

R&R del sistema de medición

%Contribución		VarComp	(de VarComp)
Fuente			
R&R del sistema de medición total	0,0006299	100,00	
Repetitividad	0,0005366	85,19	
Reproducibilidad	0,0000933	14,81	
Operadores	0,0000933	14,81	
Parte a parte	0,0000000	0,00	
Observamos que la variación parte a parte contribuye en un 0%			
Variación total	0,0006299	100,00	

La tolerancia del proceso es = 10

Fuente	Desv.Est. (DE)
Var. de estudio (6 * SD)	
R&R del sistema de medición total	0,0250968
0,150581	
Repetibilidad	0,0231636
0,138982	
Reproducibilidad	0,0096591
0,057954	
Operadores	0,0096591
0,057954	
Parte a parte	0,0000000
0,000000	
Variación total	0,0250968
0,150581	

%Tolerancia	%Var. de estudio (%SV)
Fuente	
(SV/Toler)	
R&R del sistema de medición total	100,00
1,51 Podemos observar que el error del sistema es menor a 10% por lo que se considera la medición aceptable	
Repetibilidad	92,30
1,39	
Reproducibilidad	38,49
0,58	
Operadores	38,49
0,58	
Parte a parte	0,00
0,00	
Variación total	100,00
1,51	

3. Análisis

3.1. Análisis de los datos

Los datos son analizados y las causa de los problemas son descubiertos usando las siguientes herramientas. Se toma un periodo de 6 meses, entre el 13 de abril de 2011 y el 12 de octubre del mismo año.

a) Grafica de control

Analizando el grafico de control se observa como dos medidas sobresalen del límite superior que corresponden a las dos averías acaecidas en la caldera, que se corresponden al evento acaecido el 23/4/10 con la fisura en sobrecalentador de MP y la del 7/9/10 fuga en el recalentador de MP. El hecho de que se realicen 62 arranques, con un alto ciclado, lo que hace que el consumo medio aumente debido al consumo en los arranques.

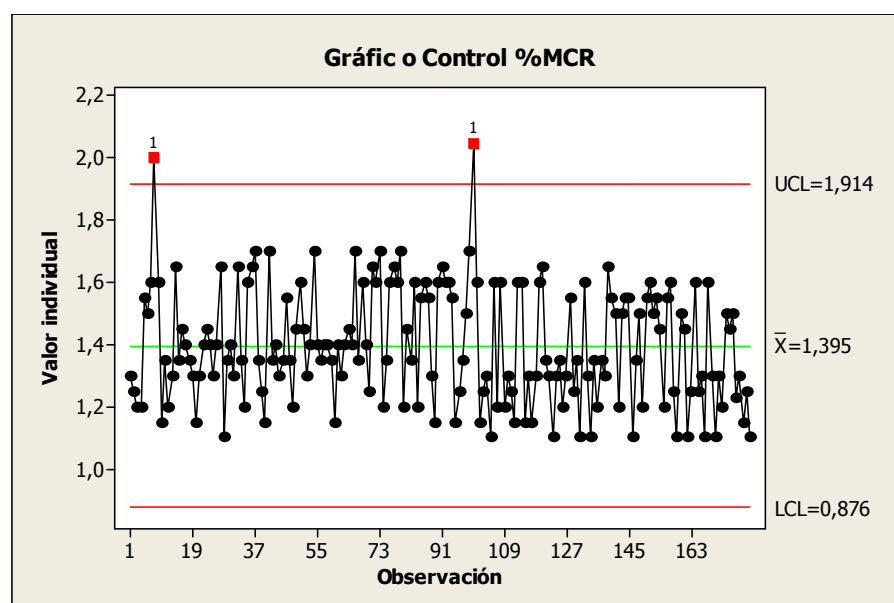


Figura 3. Grafico de Control.

Continuamos analizando el grafico de control, quitando los datos que quedan fuera de los límites y generando un nuevo grafico con el fin de acercarnos a una distribución normal. Así de esta forma queda.

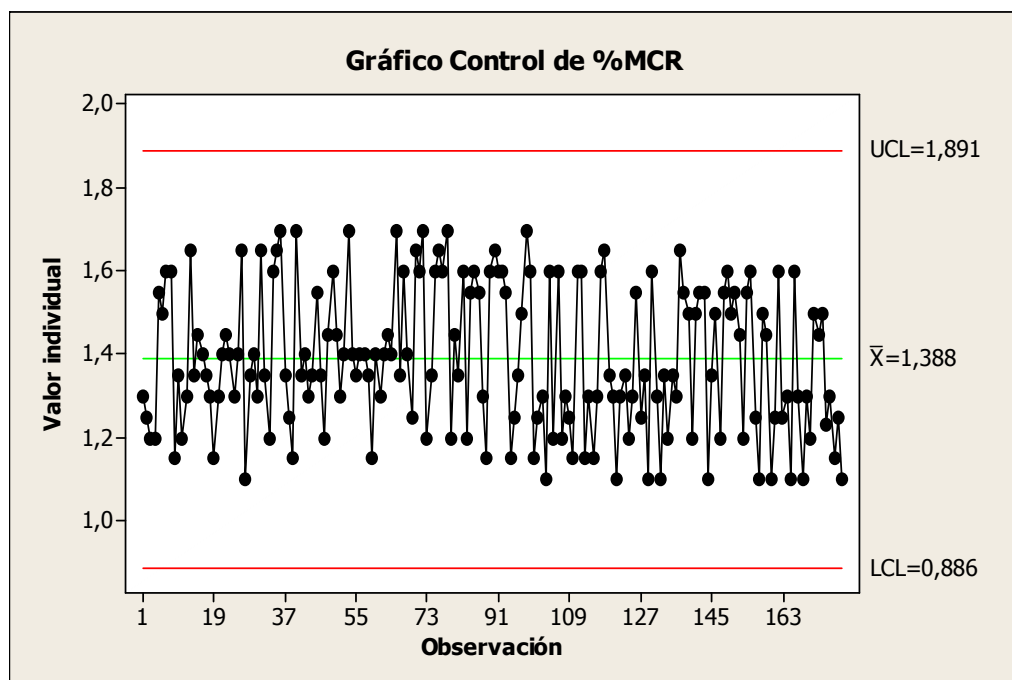


Figura 4. Grafico de Control Reducido.

b) Grafica de recorrido

El grafico recorrido fue desarrollado a partir de los datos obtenidos por día del ciclo de aporte de agua del caudalimetro. Usando el programa Minitab, obtuvimos los siguientes resultados P-valor para agrupar(0.053), P-Valor para las tendencias(0.276), P-valor para las oscilaciones (0.724) y P-Valor para las mezclas (0.947), que viene ser más que el significativo nivel de 0.05, que indica que no hay especial causa de variación en los datos. Por lo que estamos ante una distribución normal

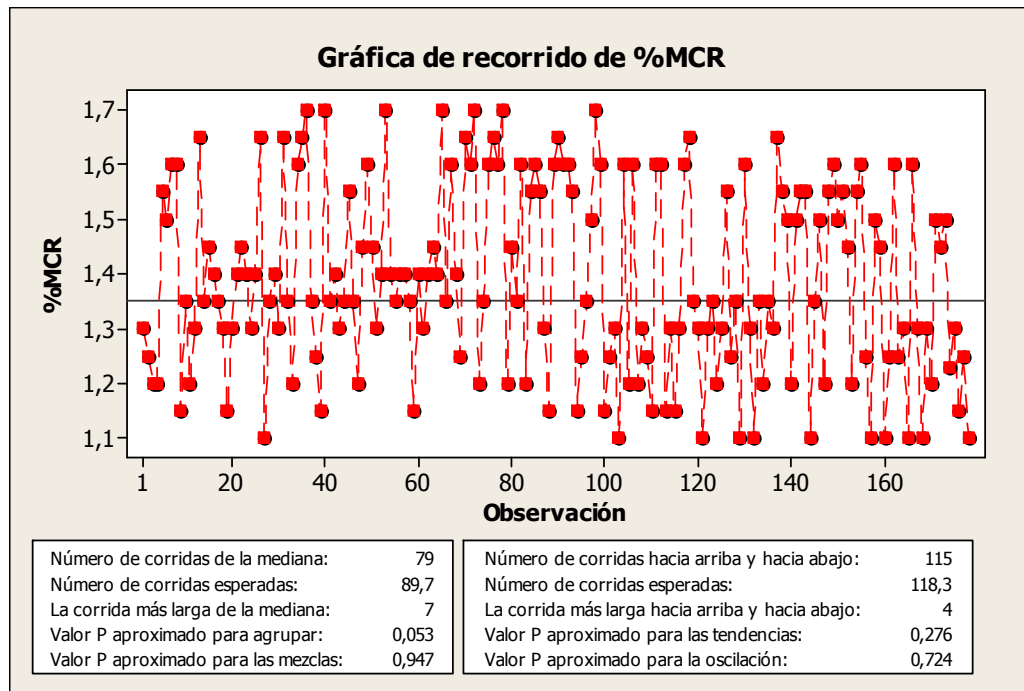


Figura 5. Gráfico de recorrido.

c) Análisis de la capacidad del proceso. Calculo del sigma de proceso actual

El análisis de la capacidad del proceso fue desarrollado usando Minitab para dibujar la curva para el ciclo de aporte de agua a caldera. El valor de CPk fue de -0.97 y el nivel e DPMO (defectos por millón de oportunidades) fue de 998216, lo cual es un resultado muy alto e indica que hay muchas oportunidades para mejorar el proceso

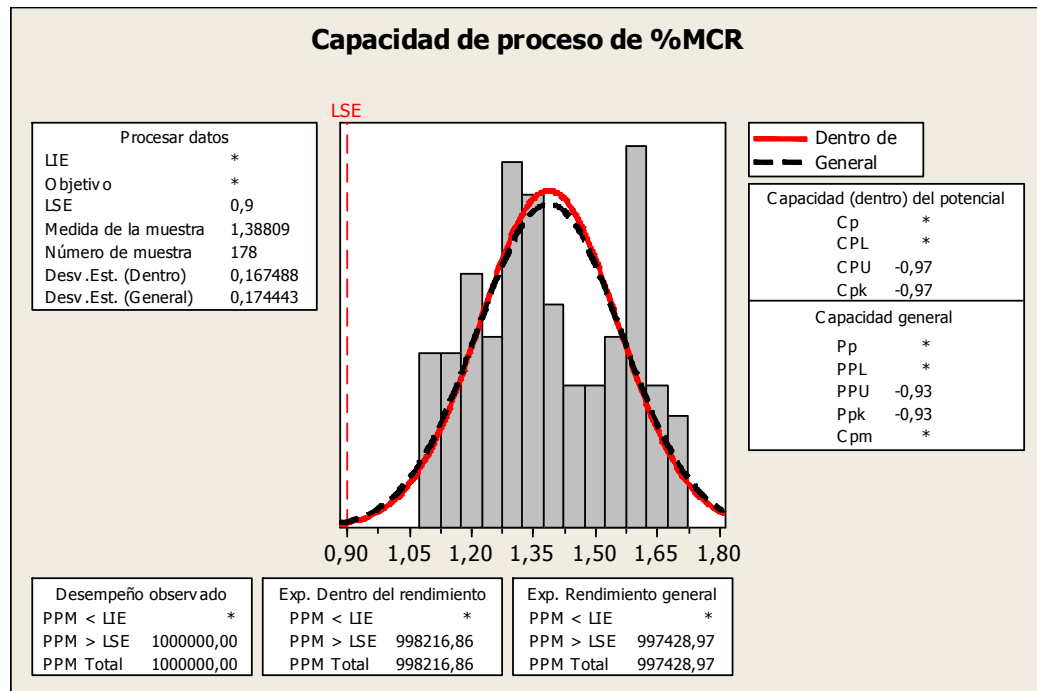
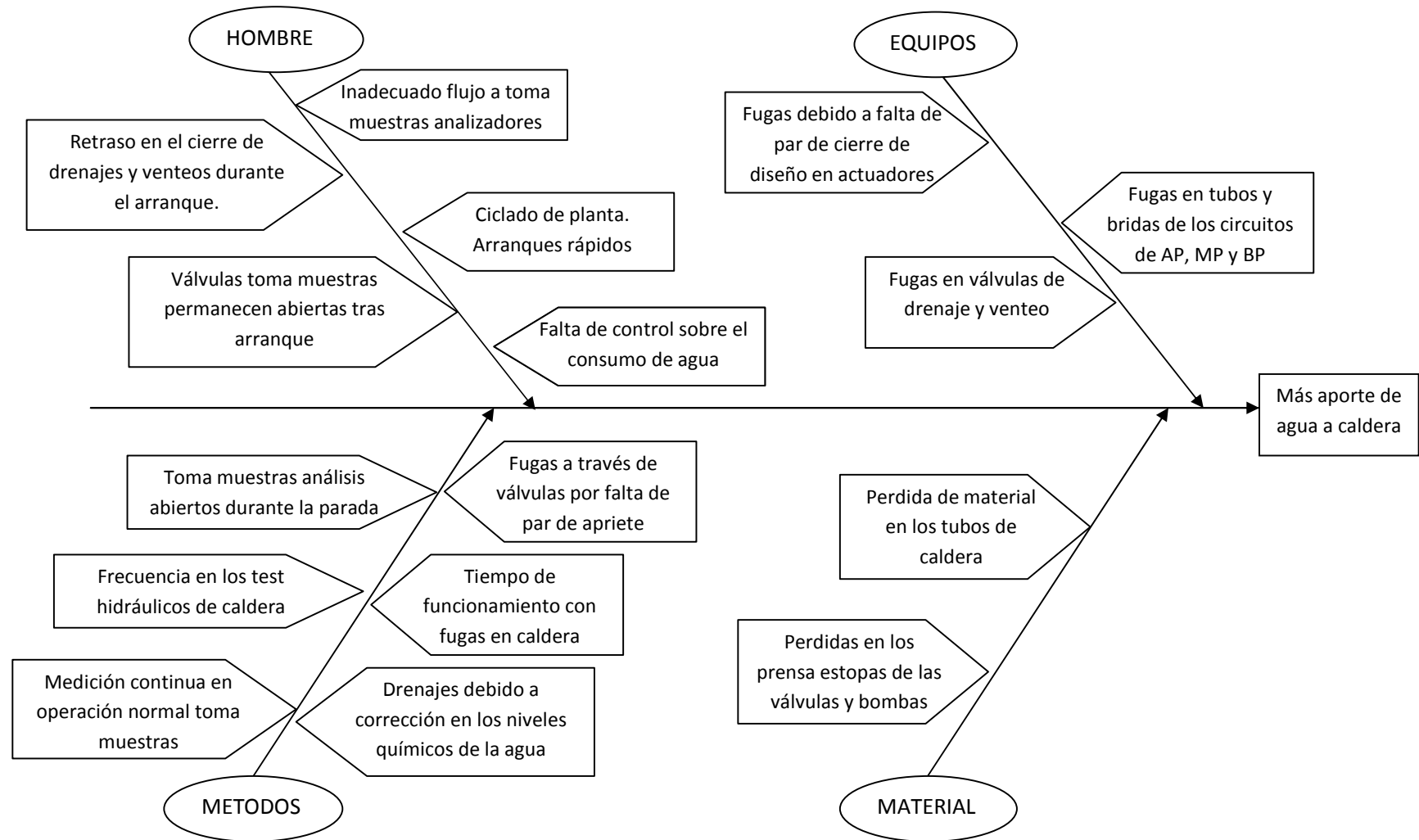


Figura 6. Capacidad de Proceso.

d) Diagrama de espina de pez o causa efecto

Usando el análisis crítico del proceso de la planta de San Roque y la experiencia del grupo de análisis se elabora un diagrama de espina de pez con el fin de encontrar el valor que mas hace variar el sistema y por lo tanto las causas del alto consumo de agua.

Figura 7. Diagrama Causa- Efecto.



e) Grafico Circular

La perdidas de agua en los diferentes puntos son medidas con caudalímetros cuando es posible y estimadas donde no existen caudalímetros. El diagrama se crea con los porcentajes de las causas que más afecta al consumo de agua.

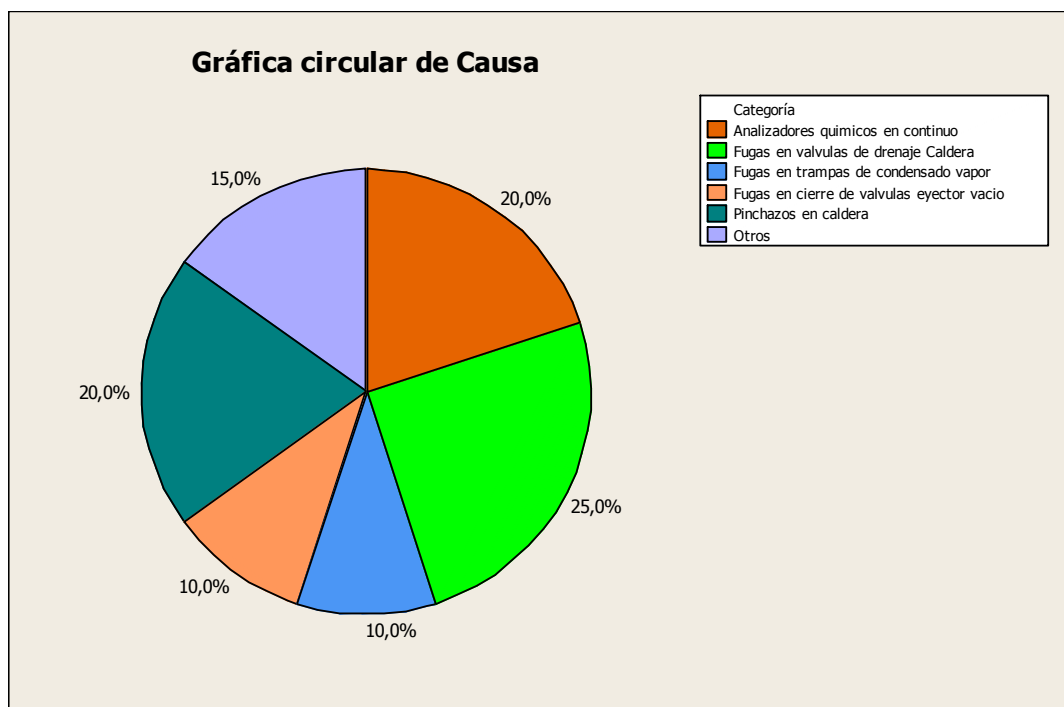


Figura 8. Grafico Circular de Consumos.

4. Mejora.

Se destacan como causas raíces del consumo de agua:

Desde el punto de vista técnico:

- Los pinchazos en caldera debido al régimen de trabajo de la planta, y los consiguientes enfriamientos rápidos para enfriar la caldera y reparar más rápidamente la misma. Esto somete al material a continuas dilataciones que terminan por generar una rotura o fisura.
- Las fugas en válvulas de drenaje de cadera debido al excesivo desgaste de sus asientos y la falta de ajuste del par de cierre de sus actuadores.
- Las fugas en las trampas de vapor provocadas por la falta de mantenimiento sobre ellas.
- Se observa un alto consumo en agua, en el sistema de analizadores en continuo de agua y vapor de caldera, no por un incorrecto funcionamiento, si no por un mal uso del sistema, dejando el sistema tomando muestra continuamente, se observa en la filosofía de trabajo de otras unidades la adopción de periodos de toma de muestra, para evitar la pérdida de agua normal de este sistema. Desde el punto de vista humano, la concienciación periódica y la formación de los analistas del laboratorio, la falta de comunicación entre el personal de operación y el de laboratorio y la falta de planes de acción para asegurar el buen funcionamiento del sistema de muestras continuas.

Diagrama Pareto

El análisis mediante el diagrama de pareto se muestra como una herramienta eficaz a fin de descubrir donde debemos actuar y nos muestra que para

liberarnos del 80% de nuestros problemas debemos de concentrarnos en los requerimientos tipo:

- Trampas de vapor
- Drenajes de Caldera.
- Analizadores/laboratorio.
- Ciclados y arranques rápidos

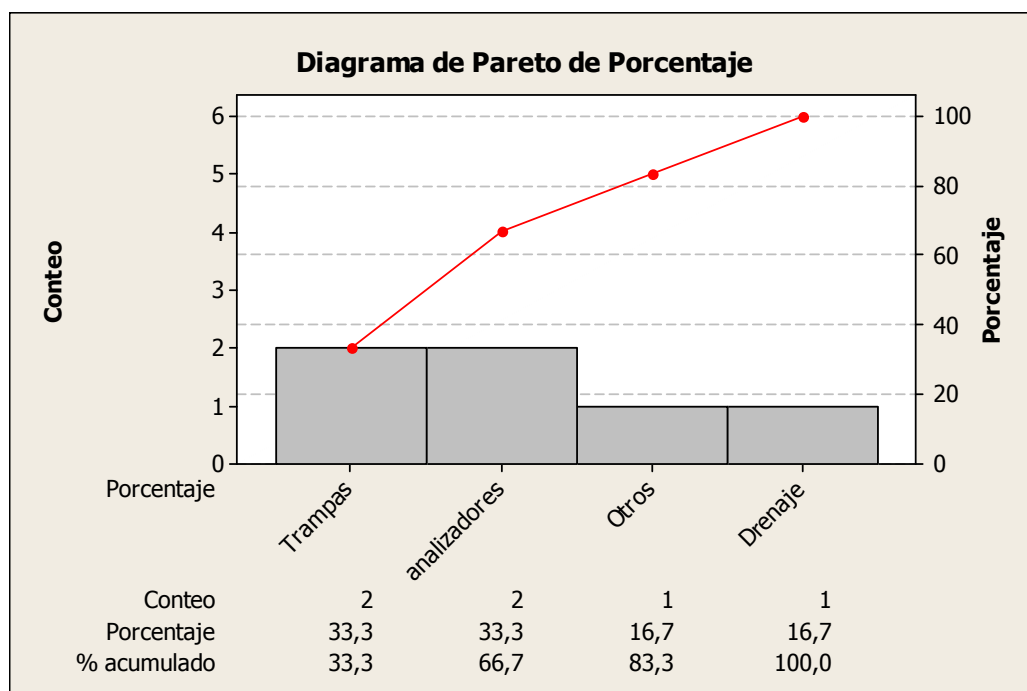


Figura 9. Diagrama de Pareto.

Si cada uno fuera un problema, podemos apreciar que el 80% de los mismos están contenidas en las actividades mencionadas líneas arriba, por lo cual procederíamos a analizar realmente cual es el problema en las mismas.

Para un mayor análisis se revisará también los efectos de los pinchazos en caldera debido al régimen de alto ciclado.

4.1. Acción de Mejora 1. Optimización del régimen de purgas de Caldera.

Minimizar la purga de la caldera que al reducir la cantidad de agua que se purga de la caldera, pueden evitarse pérdidas sustanciales de energía, ya que la temperatura del líquido purgado es la misma que la del vapor generado por la caldera. Si se disminuye la cantidad de purga, también reducirá el costo del agua de repuesto y su tratamiento. Cuando el agua se evapora en el calderín de vapor de la caldera, se separan los sólidos presentes en el agua de alimentación. Los sólidos en suspensión forman lodos o sedimentos en la caldera, que degradan la transferencia de calor, mientras que los sólidos disueltos provocan espuma y acarreo de agua con el vapor. Para reducir el nivel total de sólidos disueltos y suspendidos (TDS) y llevarlos a límites aceptables, periódicamente se tiene que descargar o purgar agua de la caldera. El propósito es eliminar los sólidos suspendidos que se sedimentan y forman lodos muy espesos. Por su parte, las purgas de superficie o de espumas tienen como finalidad desechar los sólidos disueltos que se concentran cerca de la superficie del líquido. Generalmente, este tipo de purga es un proceso continuo. Un purgado insuficiente puede provocar arrastres de agua en la corriente de vapor, como también la formación de depósitos. El purgado en exceso provoca desperdicio de energía, agua y productos químicos. La cantidad correcta de purga es determinada por varios factores, incluyendo el tipo de la caldera, presión de operación, tratamiento de agua y la calidad del agua de repuesto. La cantidad de purga va, normalmente, del 4% al 8% de la cantidad de agua de repuesto, pero puede ser tan elevada como el 10% cuando ésta tiene un alto contenido de sólidos.

Para controlar la cantidad de TSS de caldera se controla el valor de conductividad en los calderines, así como el valor de sílice en el vapor. La conductividad es una medida de capacidad para conducir la corriente

eléctrica, y también un indicador de la totalidad de sólidos disueltos en el agua. La prueba o determinación de la conductividad mide la concentración total de iones. La conductividad del agua de la caldera se utiliza como un método de control de la purga. Para el sílice la norma UNE 9-075-85 recomienda valores menores a los 5 g/litro significan un agua de poca densidad, y para conductividad valores menores a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el vapor obtenido es de baja calidad por el arrastre de agua, con menos cantidad de calorías que el vapor seco. Valores superiores al indicado, significan agua con mucha densidad, por lo que se requerirá mayor cantidad de calorías para llegar a la temperatura óptima de trabajo de la caldera, y esto se traduce en mayor costo en combustible.

Debemos recordar que el origen de este problema radica en la imposibilidad de reutilizar el 100% del vapor generado y que por lo tanto en el agua de alimentación que se inyecta a las calderas, se transportan algunos contaminantes los cuales incluyen gases disueltos, sólidos en suspensión, y sólidos disueltos que provienen del agua de reposición (MAKE UP) e incluso de las impurezas o contaminaciones que se arrastran en el agua condensada durante el proceso de utilización del vapor.

La calidad del agua de alimentación por lo tanto dependerá de la fuente primaria de donde se obtenga el agua de reposición y de los pretratamientos a que sea sometida tales como, floculación, filtración, intercambio iónico, desaireación, etc.

Ante la imposibilidad de suministrarle a las calderas agua 100% pura, nos vemos entonces obligados a utilizar productos químicos que eviten los efectos de los contaminantes tales como corrosión, formación de incrustaciones, espuma, acumulación de lodos, etc.

Según la calidad del agua de alimentación y el tratamiento químico que se escoja debemos de mantener los parámetros fisicoquímicos recomendados por el fabricante para garantizarnos los resultados esperados. Esto se logra mediante una correcta dosificación de los productos químicos y la purga de la caldera.

Por regla general el tratamiento químico incorpora al agua de alimentación una cantidad de sólidos disueltos mayor que la proveniente en la misma agua a tratar y en algunos casos para abaratar los productos algunas compañías recurren a "rellenos" o materias primas con muy poco porcentaje de ion activo (la parte del producto que se aprovecha).

Como resultado podemos asegurar entonces que la cantidad de agua que debemos purgar de una caldera depende de : La calidad del agua alimentada, el régimen de evaporación y del tipo de tratamiento químico que se escoja.

En relación al agua de caldera, su calidad puede ser mejorada mediante los tratamientos internos y eliminando al máximo las fugas de vapor y/o condensados con el propósito de reducir la demanda de agua de reposición (Make-up) ya que esta es la entrada de contaminantes al sistema.

El ahorro de energía requiere que se lleven los límites a la mayor cantidad de concentración permitida, para ello es precioso sacrificar el margen de seguridad y permitir se incremente en cierto grado la cantidad de sólidos en suspensión.

Es importante notar que el costo del tratamiento químico del agua de las aguas de caldera es insignificante en relación con los costos totales de operación. Al realizar cambios en el tratamiento químico se podrá lograr

ahorros significativos de combustible. Esto es posible dado que se podrá disminuir la cantidad de agua que se debe purgar.

Considerando la Directiva de la Unión Europea 76/767/CEE, que establece las disposiciones comunes que han de cumplir los aparatos sometidos a presión y los métodos de control de los mismos, así como el Reglamento de Aparatos a Presión (RD 1244 BOE29/5/79) y sus Instrucciones Técnicas, ITC-MIE-AP1 (OM. 17/3/82 BOE8/4/81), ITC-MIE-AP2 (OM 6/10/80 BOE 4/11/80) e ITC-MIE-AP16 (OM11/10/88 BOE 22/10/88), destacamos:

-La calidad del agua de alimentación a calderas está especificada por la Norma UNE 9-075-85, y será obligación del usuario mantener los parámetros de control dentro de las especificaciones que la normativa establece. Son los motivos económicos quienes sugieren la adopción de los posibles diferentes tratamientos externos e internos aplicables al agua, siempre adecuándose a la especificaciones de la Norma.



Figura 10. Válvulas de purga de Caldera.

Calculo de Ahorro de costos por instalación sistema automático de purga

La caldera que opera a máxima carga a 115 kg/cm² quemando gas natural y produciendo 362160 kg de vapor por hora, se instalara un sistema de purga automático que reduce la cantidad de purga del 1.5% al 1.2%MCR hora, manteniendo los niveles de TSS más ajustados. Los ahorros anuales siendo la temperatura del agua de repuesto de 18°C, la eficiencia de la caldera 82%, el costo del combustible 0.05679 € KWh y el costo total del agua, tratamiento es de 0.002 € litro.

Ahorros en agua de repuesto:

$$\text{Inicial} = 362160 \text{ kg/h} / (1 - 0.015) = 367675 \text{ kg/h}$$

$$\text{Final} = 362160 \text{ kg/h} / (1 - 0.012) = 365818 \text{ kg/h}$$

$$\text{Ahorro en agua} = 1857 \text{ kg/h}$$

$$\text{Entalpía del agua en caldera (560°C 115Bar)} = 3524,67 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{Entalpía del agua de repuesto (18°C p atm.)} = 75,64 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{Diferencia de entalpías} = 3449.03 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{Kcal/m}^3 = (3449.03 \times 1000) / 4.18 \text{ kcal/m}^3 = 825126.79 \text{ kcal/m}^3$$

$$\text{Pérdida de potencia equivalente: } 825126.79 / 1547 = 533,37 \text{ KWh/m}^3$$

$$\text{Consumo específico en ciclo combinado} = 1547 \text{ Kcal/KWh}$$

Ahorro anual en energía (AAE):

$$\text{AAE} = 1,857 \text{ m}^3/\text{hr} \times 8760 \text{ h} \times 533.37 \text{ KWh/m}^3 \times 0.05679 \text{ €/kwh} \times 1/0.82$$

$$\text{AAE} = 600900.5 \text{ € año}$$

Ahorro en agua y productos químicos (AAPQ):

$$\text{AAPQ} = 1,857 \text{ kg/hr} \times 8760 \text{ h} \times 0.002 \text{ € kg}$$

$$\text{AAPQ} = 32534.6 \text{ € año}$$

Total de ahorro anual: 633435 € año

Mejora propuesta

Así pues la situación actual es que se mantienen valores en calderines de entre 9 y 10 $\mu\text{S/cm}$ de conductividad, 3 gramos de sílice por litro de vapor, por lo que se recomienda aumentar esos valores dado que los límites son de 20 $\mu\text{S/cm}$ y 5 gramos respectivamente, por lo que nos podemos permitir reducir la cantidad de purga, del 1.5% MCR al 1.2%, y para que ello sea más efectivo usando un sistema automático de purga.

4.2. Acción de Mejora 2. Reducción de pérdidas en trampas de Vapor.

¿Que es una trampa de vapor?

Una trampa de vapor es una válvula automática cuya misión es descargar condensado sin permitir que escape vapor vivo. También quitan el aire y los no-condensables de la fase vapor permitiendo que éste alcance su destino y haga su trabajo lo más eficientemente y económicamente posible. La cantidad de condensado que tiene que manejar un purgador puede variar considerablemente. Puede que tenga que descargar condensado a la misma temperatura del vapor, es decir, tan pronto se haya formado en el espacio del vapor, o que tenga que descargar por debajo de la temperatura de vapor, desprendiendo algo de su “calor sensible” en el proceso. Las presiones a las

que tiene que bajar los purgadores pueden variar entre vacío y más de cien bares. Para ajustarse a esta variedad de condiciones hay muchos tipos diferentes, cada uno con sus ventajas e inconvenientes. La experiencia nos muestra que los purgadores funcionan con mayor eficacia cuando se igualan sus características con las de la aplicación. Es fundamental que se seleccione el purgador correcto para llevar a cabo una función determinada bajo unas condiciones determinadas. Puede que al principio las condiciones no sean muy obvias. Puede haber variaciones de presión de trabajo, suministro o contrapresión. Pueden estar sujetas a temperaturas extremas o incluso a golpes de ariete. Pueden ser sensibles a la corrosión o a la suciedad. Cualesquiera que sean las condiciones, es importante hacer una selección correcta del purgador para tener un sistema más eficaz.

Intervalos de revisión recomendados:

Sistemas de alta presión (más de 10 kg/cm²).- Semanal o mensual
Sistemas de presión media (de 2 a 10 kg/cm²).- Mensual o trimestral
Sistemas de baja presión (menos de 2 kg/cm²).- Anual

La revisión de trampas de vapor Las trampas de vapor se revisan para determinar si están funcionando adecuadamente y no se han quedado atascadas, ya sea cerradas o en posición abierta; en este último caso, permiten que el vapor vivo escape hacia el sistema de retorno de condensado. Existen cuatro formas básicas para revisar el funcionamiento de las trampas: por temperatura, sonido, visualmente y electrónicamente. Se sugiere el establecimiento de un programa de revisión para detectar oportunamente las trampas que fallan y poder repararlas. Se aconseja elaborar un sistema de seguimiento para asegurar la cobertura de todas las trampas y establezca un mecanismo que documente los ahorros de energía y económicos.

Cuando falla un purgador de vapor

La mayoría de fallos en purgadores es en modo abierto. Cuando esto ocurre, la caldera empieza a trabajar más para producir la energía que se necesita, a la misma vez se pueden producir altas presiones en el colector de descarga de condensado. Esto produce un efecto dominó y puede hacer que algunas trampas dejen de descargar, causando una ineficiencia del sistema. Una trampa cerrada no será capaz de desalojar el condensado y no se producirá el calor previsto en el equipo, afectando por lo tanto negativamente en la producción y calidad de los productos. Excluyendo los fallos de diseño, dos de los más comunes modos de fallos son oversizing y suciedad.

El oversizing hace trabajar a las trampas más duramente. En algunos casos puede dar lugar a tirar vapor vivo.

La suciedad es otro factor importante que se debería considerar al seleccionar el purgador. Aunque el vapor se condensa en agua destilada, a veces puede tener productos de tratamientos de las aguas de caldera y minerales naturales que se encuentran normalmente en el agua. También hay que considerar la suciedad creada durante la instalación y la producida por la corrosión.

Cuando las trampas de vapor fallan y no desalojan el posible condensado en líneas, el vapor convive con el condensado, baja la calidad del vapor y aumenta la probabilidad de golpes de ariete.

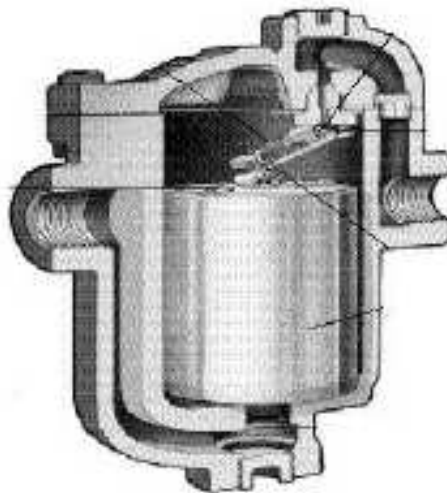
No solamente hay que tener en cuenta la energía perdida, sino la posible destrucción del equipo.

Trampa de balde invertido

Como su nombre lo dice, éste tipo de trampa posee en su interior un balde cuya abertura está hacia abajo, o sea, de balde invertido. El sistema de funcionamiento resulta simple. Vemos que el vapor que entra mantiene al balde flotando, si se puede decir así, y mientras flote, éste mantendrá cerrada la válvula de salida.

Cuando comienza a condensar, el interior de la trampa se va llenando del condensado, el que mandará al fondo al balde, causando que la válvula se abra, lo que junto con la presión ejercida por el vapor dentro del balde, descargará el exceso de condensado.

Figura 11. Trampas de balde invertido.



Como se ve en la figura el orificio de escape de aire, C, es pequeño lo que hace que el aire salga lentamente, tampoco puede ser grande porque ocasionará pérdidas de vapor. Por este motivo es que puede ser una

desventaja ya que al mantener mayor tiempo el aire este, como ya sabemos corroerá la trampa.

En este tipo de trampa como en la de balde abierto, se debe mantener condensado en el fondo, ya que éste hace de sello. Si éste sello se pierde, podría ser a causa de una pérdida de presión del vapor, ocasionará el paso del vapor libremente por la válvula.

Análisis de fugas en trampas y válvulas de corte.

Así, se procedió a realizar una revisión de los elementos, según la lista de equipos del sistema de drenajes (LCM) son los siguientes:

KKS	CIRCUITO	ESTADO	CAUDAL FUGA(kg/ h)
18MAN40AA203	Bypass media presión	ok	
18MAN40AA201		ok	
18LBA40AA221	Recalentado Caliente	ok	
18LBA10AA221	Vapor baja presión	ok	
18LBA10AA202	Vapor de baja	fuga	400

18LBA10AA201	presión	ok	
18LBH10AA202	Bypass baja presión	ok	
18LBH10AA201		ok	
18MAL70AA001	Válvula control baja presión	ok	
18LBA45AA201	Vapor media presión	ok	
18LBS50AA202	Vapor alta presión	fuga	50
18LBS50AA201		ok	
18LBA45AA202	Vapor media presión	ok	
18LBA45AA201		ok	
18LBA40AA211	Vapor recalentado caliente	ok	
18LBC10AA221	Vapor recalentado frio	ok	
18LBC10AA212	Vapor recalentado frio	ok	
18LBC10AA211		ok	
18LBA50AA202	Vapor alta presión	fuga	800
18LBA50AA201		ok	

18LBA50AA221	Vapor alta presión	ok	
18LBA50AA231	Vapor alta presión	fuga	50
18LBG95AA203	Vapor de OTC a purgas caldera	Ok	
18LBG95AA201		ok	
18LBA50AA211	Vapor alta presión a purgas caldera	fuga	
18LBA40AA201	Vapor media presión a purgas caldera	ok	
18LBA10AA211	Vapor baja presión a purgas caldera	ok	
18LBC10AA231	Vapor recalentado frio a purgas caldera	ok	
TOTAL			1300

Los datos de caudal perdido son tomados de las tablas (según anexo) ofrecidas por el fabricante de las válvulas, en las válvulas se considera una

valor fijo debido al mal cierre de válvula bien por fallo en los asientos, o falta de par de cierre.

Para realizar la prueba ello se selecciono un nuevo método para búsqueda de fallas en trampas de vapor, tradicionalmente se venía realizando midiendo la temperatura delante y tras la trampa, pero a razón del estudio seis sigma, se realizo la adquisición de un equipo de detección de fugas por ultrasonidos.

La detección de fugas por ultrasonidos se basa en el principio físico de que un fluido al pasar por un orificio restringido, produce vibraciones de frecuencia por encima de lo audible. Este sistema tiene la ventaja de ser muy sensible y que puede ajustarse según el tipo de fuga a buscar.

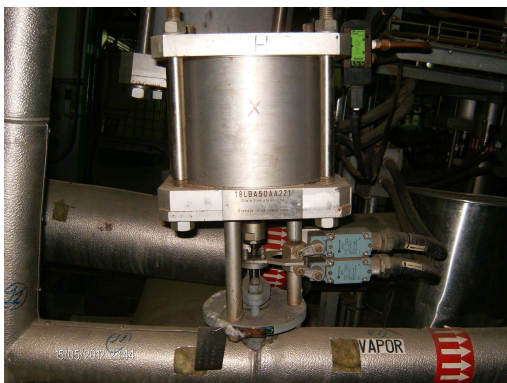


Figura 12. Válvulas automáticas de purga de vapor.

Costo de fugas

El costo del vapor es de 30.29€ por tonelada según datos ofrecidos por la compañía, se encontró del análisis en purgas unas pérdidas de 1300 kg/h (1.3Tn/h).

Costo de perdidas: $1.3 \text{ T/h} \times 8760 \text{ hr/año} \times 30.29 \text{ €/T} = \mathbf{344942 \text{ €}}$

Mejoras propuestas

Así, como se ve claramente, se hace necesaria una reparación de los elementos con fugas e implementar por procedimiento una revisión del estado del sistema de purgas, dado el alto coste, como se ha demostrado, que se incurre producen unas enormes pérdidas, y la adquisición de un equipo de detección por ultrasonidos de fugas.

4.3. Acción de Mejora 3: Reducción del consumo de agua del sistema de muestreo del ciclo agua/vapor.

La importancia del control químico.

El objetivo principal de un tratamiento químico en una planta de generación eléctrica es preservar la integridad de los materiales constituyentes de los diversos circuitos para mantener la operación de los sistemas de la planta en el nivel óptimo de disponibilidad, seguridad, fiabilidad, economía y eficiencia durante la vida útil de la instalación.

Fundamentalmente la acción del agua sobre los distintos sistemas tiene dos efectos perjudiciales: corrosión y formación de depósitos.

Para llevar a cabo los tratamientos químicos adecuados necesitaremos conocer las siguientes condiciones fundamentales:

Control de contenido en Sales

El contenido en sales en el vapor no se controla con un tratamiento químico propiamente dicho, sino con un estricto control del agua de aporte al ciclo y un adecuado régimen de purgas. El contenido en sales se controla de forma indirecta a través de la medida de la conductividad.

Si introducimos a través del agua de aporte o reposición (también llamado agua de make-up) una concentración determinada en sales, y asumimos que el vapor contiene una concentración mucho menor de ellas (se vaporiza el agua, y en mucha menor medida, los iones que forman las sales), la fase líquida que queda en los calderines está mucho más concentrada en sales que la de aporte. Si queremos controlar la cantidad de sales disuelta que pasa a la fase vapor debemos controlar el agua de aporte y diseñar un régimen de purgas adecuado. En general, se dispone de purgas continuas (que están drenando agua de los calderines continuamente) y de purgas intermitentes (se abren en determinados momentos, bien con una periodicidad fija o bien cuando la conductividad alcanza un valor determinado).

Control de PH

En función del material con el que estén contruidos los calentadores del agua de alimentación, el pH debe mantenerse entre 8.8-9.2 cuando hay presencia de cobre, y mayor de 9.2 cuando no hay tal presencia. Un pH mayor de 11 podría provocar corrosión cáustica mientras que un pH menor de 8,5 provocaría corrosión en metales y juntas de estanqueidad.

Para el control del pH en la fase líquida se utilizan diversos fosfatos. El objetivo inicial del empleo de tratamientos a base de fosfatos era la prevención de la formación, en la superficie de transferencia de calor, de incrustaciones 'duras' (carbonatos de Calcio y Magnesio), debidas a la dureza residual del agua, ya que los fosfatos proporcionan un buen amortiguamiento a las mismas, mediante la formación de lodos no adherentes. Posteriormente, con el uso de aguas de alimentación de mayor pureza, estos fosfatos son utilizados principalmente por su capacidad de actuar como tampón de pH, eliminando los pequeños desequilibrios químicos provocados por entradas de agua del condensador o por descomposición de especies químicas.

El objetivo del tratamiento es minimizar la formación de NaOH, producida por la precipitación de fosfato, evitando el ataque caústico. Los límites más adecuados de fosfato a mantener están entre 2 y 4 ppm.

El inconveniente de los tratamientos basados en el empleo de fosfatos es el secuestro/retorno de los mismos y la formación de depósitos asociada. El fenómeno del secuestro se atribuye a la precipitación de sales de sulfato de Ca y Mg debido a la disminución de su solubilidad con la temperatura.

En cuanto al control del pH en la fase vapor, este se realiza con amoníaco (NH_3) y sus derivados, aminas. Los fosfatos que se emplean en la fase líquida no regulan el pH en la fase vapor porque no son volátiles. Las aminas y el amoníaco sí lo son, y tienen el efecto taponador deseado.

Actualmente en muchas plantas de generación eléctrica se utilizan compuestos derivados de aminas, denominados tratamientos 'All Volatile' (solo volátil), en los que un solo producto regula el pH en fase líquida y en

el vapor y se encarga del control del O₂ disuelto. El producto se adiciona en un solo punto (agua de alimentación).

Control de oxígeno disuelto

El control del oxígeno disuelto se realiza con compuestos que ‘secuestran’ las moléculas de O₂. Tradicionalmente, el compuesto empleado ha sido la hidracina (N₂H₄).

El interés de este compuesto residía en el hecho de que los productos de la reacción son inocuos para la caldera, ya que no producen sales ni productos corrosivos. El problema con la hidracina es que se trata de una sustancia sospechosa de provocar cáncer, lo que hace que esté en progresivo desuso, sustituyéndose por otros productos de reciente aparición en el mercado. Estos productos son generalmente aminas volátiles. Aún así, la hidracina sigue siendo ampliamente utilizada.

La velocidad de reacción entre la hidracina y el oxígeno es función de la temperatura del agua. A temperaturas inferiores a 80°C la velocidad de reacción es lenta. Sin embargo, la sola presencia de hidracina es suficiente para inhibir la acción corrosiva del oxígeno. Al mismo tiempo, debido a su coeficiente de reparto, existe siempre una parte de hidracina que pasa siempre a la fase vapor, protegiendo también esa zona del circuito. La hidracina contenida en el vapor se condensa antes que éste y aplicando la dosis adecuada, queda también protegida la zona de condensado contra eventuales corrosiones. A temperaturas superiores a 270 °C la hidracina se descompone en amoníaco (NH₃), contribuyendo a su vez a la alcalinización del ciclo agua-vapor y condensado.

Las recientes investigaciones de organismos tan prestigiosos como el EPRI (Electric Power Research Institute) apuntan a que el efecto del O₂

disuelto no supone ningún problema, sino más bien una ayuda para favorecer la formación de la capa protectora de magnetita.

Incluso algunas plantas han introducido sistemas para aumentar la cantidad de O₂ disuelto.

Corrosión e Incrustaciones

Una de las causas más comunes de la indisponibilidad de una planta de generación eléctrica es el fallo de tubos de caldera, condensadores, intercambiadores o fallos en la turbina de vapor por operar con los parámetros químicos de control fuera de las especificaciones de funcionamiento. Caldera, ciclo agua-vapor, turbina y otros consumidores de vapor se ven afectados enormemente por las condiciones químicas del agua y del vapor. Los mayores problemas en el rendimiento del circuito agua/vapor de las plantas están relacionados con la acumulación de depósitos porosos en la zona de agua de los tubos de caldera. Una parte de los depósitos provienen del arrastre de los productos de corrosión generados en los sistemas previos a la caldera; otra parte proviene de la corrosión de los propios tubos de la caldera; y una última parte proviene de compuestos que arrastra el propio vapor por utilizar un agua de alimentación al sistema que no cumple con los requerimientos deseables.

Como se ha dicho anteriormente, la corrosión y las incrustaciones son los efectos más perjudiciales de un control químico inadecuado, y tienen su efecto negativo en la producción de roturas, pérdidas de rendimiento, pérdidas de material, degradación acelerada de elementos y desequilibrios en equipos rotativos.

Podemos definir la corrosión como la reacción química o electroquímica que se produce entre un metal y el medio, que provoca su degradación y la pérdida de sus propiedades. Esta corrosión se produce por el oxígeno disuelto en el agua, por el dióxido de carbono o por ácidos. El ataque

químico comienza en la superficie y se propaga hacia el interior. Diferentes zonas de la superficie metálica actúan como ánodo y cátodo. Los iones metálicos por difusión a través de la matriz metálica se oxidan en la zona anódica y los electrones, difundidos de igual modo, reaccionan en el oxígeno disuelto en la zona catódica.

El resultado de la corrosión es la pérdida de espesor y de cualidades mecánicas así como el desprendimiento de material que puede acumularse en ciertos puntos de la instalación.

En caldera y ciclo agua-vapor, las partes más afectadas de la instalación serán las partes “frías”, es decir circuito de alimentación y economizadores, ya que en las partes calientes se forma de manera natural una capa superficial de óxido de hierro denominado magnetita, que impide que la oxidación progrese al interior del metal, formando así una capa protectora. Sin embargo estas partes calientes si se verán afectadas por los desprendimientos de las partes frías.

Las incrustaciones se deben fundamentalmente a las sales de Calcio y Magnesio que al calentarse se concentran y precipitan dando lugar a depósitos que forman una capa aislante que dificulta el intercambio de calor. Los efectos directamente ocasionados son:

- La reducción del coeficiente de transmisión de calor
- La reducción de la sección libre de paso de fluido
- La rotura de tubos por sobrecalentamiento, al ser el intercambio de calor menor.
- Las incrustaciones o depósitos también pueden afectar a partes en movimiento, principalmente válvulas y álabes de turbina de vapor. En este caso, no sólo se producen incrustaciones por sales cálcicas y

magnéticas, sino también por deposición de sílice y diversos compuestos de hierro. Esto provoca falta de estanqueidad en válvulas, degradación acelerada de álabes y desequilibrios en el rotor de la turbina de vapor.

Acondicionamiento químico del Circuito de agua/vapor San Roque

El agua de alimentación, el vapor y la condensación se alcalinizarán mediante la dosificación de amoníaco en solución diluida (entre 0,5 y 10% de NH_3) y/o hidracina en solución diluida (entre 0,5 y 10% de N_2H_4). La concentración requerida es de aprox. 0,03 - 2 mg de amoníaco por kilo de condensación durante el funcionamiento normal con pérdidas normales de aprox. 0,05 mg/kg.

La dosificación de hidracina sólo se recomienda en caso de que el oxígeno del agua de alimentación supere los límites especificados. Si se utiliza hidracina, generalmente se mantiene el nivel de: hidracina = 3 x contenido de oxígeno, pero al menos 20 ppm de hidracina. Prácticamente se dosifican 20 – 100 $\mu\text{g/kg}$ de hidracina. Para paradas en húmedo, la hidracina se dosifica como solución concentrada (de acuerdo con las instrucciones del fabricante de la caldera).

El pH requerido del agua de la caldera se mantendrá mediante la dosificación de una solución diluida de fosfato trisódico (entre 0,5 y 5% de Na_3PO_4), si es necesario mezclada con fosfato disódico o hidróxido de sodio. La decisión se toma durante la puesta en servicio. La dosificación requerida debe mantenerse en 2 - 6 mg/kg de PO_4 en el agua de la caldera.

Puntos de medición de los parámetros químicos

Los parámetros químicos más importantes de los principales fluidos del proceso se miden en línea y aparecen indicados localmente. Las señales

de medición se envían a la sala de control principal y se procesan en el DCS. Las señales de medición también se envían mediante el DCS al laboratorio.

El sistema de muestreo incluye puntos de muestreo para tomar muestras destinadas a los análisis de laboratorio, con el objeto de:

- Complementar los datos químicos para obtener una visión general más completa;
- Supervisar los parámetros no controlados;
- Comprobar periódicamente los dispositivos de supervisión.

Los puntos de muestreo se muestran en la siguiente figura.

Figura 13. Diagrama de puntos de dosificación química en ciclo.

Ver página siguiente.

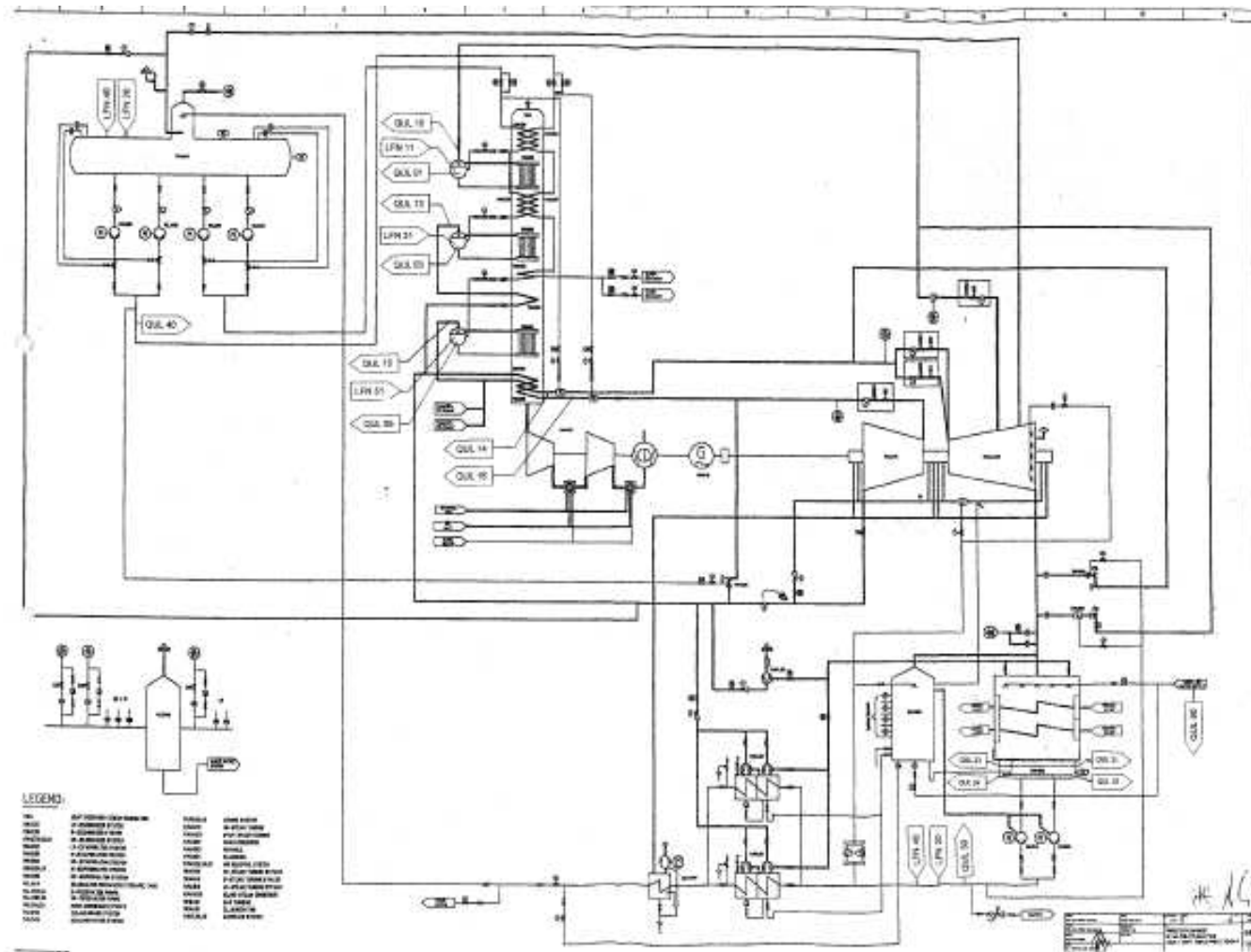




Figura 14. Analizadores en Continuo de Vapor.

Parámetros químicos para el ciclo San Roque. Caudales

Los parámetros que deben controlarse aparecen relacionados en las siguientes tablas junto con los caudales necesarios para los analizadores en continuo, en este caso solo nos interesan los analizadores propios de caldera y ciclo agua-vapor, ya que el agua ha tomado la energía del gas en forma térmica.

Muestras Calderines Baja, Media y Alta presión.

Parámetro	Unidades	Valor normal	Caudal (ml/min)
Conductividad específica	$\mu\text{S/cm}$	< 40	600
pH		9 - 9,6	600
Sílice	$\mu\text{g/kg}$	< 0,9	750

Total de consumo: 5,850 l/min

Vapor de Media y Alta presión

Parámetro	Unidades	Valor normal	Caudal
Conductividad específica	$\mu\text{S/cm}$	3 – 11	600
pH		9 - 9,6	600
Sílice	$\mu\text{g/kg}$	< 20	750

Total de consumo: 3.9 l/min

Consumo de agua y vapor: 9,75 l/min x 60min=585 l/h

Coste del vapor consumido

El costo del vapor es de 30.29€ por tonelada según datos ofrecidos por la compañía

Coste agua consumida: 0.585T/h x 8760 h x 30,29€=155224€año

Mejora propuesta.

Como el funcionamiento de la caldera es continuo es importante realizar la medida de muestras continuas, sin intermitencia por lo que no es posible eliminar esta perdida en su totalidad. Sin embargo, es posible, bajar el consumo necesario del sistema para realizar su misión, disminuyendo el

caudal que circula por ellos al mínimo imprescindible. Por ello lo que se propone es disminuir los caudales a los valores según la siguiente tabla, tras comprobación de que la lectura es correcta.

Parámetro	Unidades	Valor normal	Caudal
Conductividad específica	$\mu\text{S/cm}$	3 – 11	200
pH		9 - 9,6	200
Sílice	$\mu\text{g/kg}$	< 20	300

Los consumos de esta forma se reducen a:

Muestras Calderines Baja, Media y Alta presión a 2.1 l/min

Vapor de Media y Alta presión a 1.4 l/min

Total de consumo: 3.5 l/min

Consumo de agua y vapor: 3.5 l/min x 60min=210 l/h

Coste del agua consumida: 0.210T/h x 8760 h x 30,29€

=55721,48€ año

Ahorro aportado= 155224€ año - 55721,48€ año=99503 € año.

Mejora Propuesta.

La instauración de un sistema para que los analistas del laboratorio y operadores, tengan conciencia de la importancia en costes que supone

mantener los caudales en los analizadores. La concienciación periódica y la formación de los analistas de laboratorio, la falta de comunicación entre el personal de operación y el de laboratorio y la falta de planes de acción por parte de los responsables para asegurar el buen funcionamiento del sistema de muestras continuas. Las acciones a aplicar son:

- Enfatizar a los analistas la importancia de asegurar el cierre del sistema de toma de muestras en continuo tras su uso.
- Cartel indicador de aviso de cierre de las líneas toma muestras para analizadores en el panel de los toma muestras.
- Chequeo por parte de los operadores de la posición de las válvulas de los analizadores.

4.4. Acción de Mejora 4. Mejora del proceso de arranque.

En estas plantas, se controla la operación del vapor, así como el funcionamiento de las turbinas, de conformidad con los parámetros que se obtienen teniendo en cuenta los patrones de inicio y operación de la planta. Estas plantas de energía tienen también que responder a las demandas para la rápida puesta en marcha y parada, así como la demanda de un cambio drástico del nivel de carga. Por lo tanto, es muy importante para determinar precisamente las tensiones térmicas que ocurren en las zonas de calor, maximizando así la vida de estas partes.

Un programa para controlar el funcionamiento de la planta generadora de vapor, en la que se controla la operación de la generación de equipos, de acuerdo con los parámetros de operación de la planta obtenidos habida cuenta de los patrones de inicio hasta de energía y operación de la planta.

El programa comprende: establecer temporalmente, de conformidad con las pautas mencionadas, los parámetros de operación de plantas sobre las tasas de cambio de estado de la planta, como las tasas de aceleración de la turbina y carga, y las tasas de aumento de la temperatura del vapor principal y la presión, estimar el cambio de la cantidad de estado de vapor principal en un momento futuro designado, estimar las tensiones térmicas en porciones de evaluación de estrés respectivos de la caldera y turbina, comparando las tensiones térmicas estimadas con respectivos tensiones térmicas admisibles determina que corresponde al consumo de la vida permitida para cada puesta en marcha y ciclo de operación de la planta, selección de una de las tensiones térmicas estimadas que tiene un margen más pequeño para el estrés térmico permitido y obtener el parámetro de la operación que proporciona la máxima tasa de cambio del Estado de la planta.

El programa debe permitir una rápida puesta en marcha de la planta mientras se mantiene la tensión térmica por debajo de un determinado nivel permisible.

Cuando la planta se arranca, se produce un específicamente gran estrés térmico en el encabezado de tubo de la secundaria recalentadores de vapor. Hay que medir la distribución de temperatura alrededor de estas partes para dar bases para el cálculo de las tensiones térmicas. Además, puesto que la condición del vapor varía en cada momento, es casi imposible determinar con precisión el estrés térmico realmente que se producen en estas partes de la planta.

Objetivos

Realizar un diagnóstico a través de técnicas Seis Sigma, para poder optimizar el funcionamiento de la caldera de la central en régimen de

funcionamiento de parada y arranque, teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

- Reducir el stress térmico de la caldera, a través de análisis de variables críticas, y de relaciones causa-efecto.
- Disminuir la indisponibilidad de las centrales por fallos en caldera, en este tipo de operación.
- Implantación de mejoras, que garanticen la reducción del stress térmico, y que no incidan en la competitividad de las centrales en mercado.
- Cuantificación económica de las mejoras a realizar.

Definición de la situación Actual

La operación en el mercado eléctrico hace muy rentable la operación en ciclado de la central, es decir, parando al día las horas de baja demanda, horas valle, y funcionando durante el resto, que corresponden entre el periodo 1 y el 6 del día. Sin embargo estos ciclados continuos someten a la caldera a bruscos gradientes de temperatura, que pueden provocar pinchazos en la caldera. Por ello se realiza un análisis del procesos de parada y arranque, haciendo un análisis de la evolución de las temperaturas en parada y de los gradientes de temperatura durante el año.

Resulta fundamental el diagnostico de los principales fallos en caldera, como son roturas y fisuras en las diferentes partes de la caldera.

Del mismo modo un análisis de los diferentes componentes que componen la caldera, con el objetivo de identificar posibles causas de fallo.

Análisis de los procesos de arranque

Debido a un diseño inicial para funcionamiento en continuo, los gradientes elevados de temperatura producidos por arranques bruscos y paradas forzadas están provocando un incremento en el número de actividades de mantenimiento y un envejecimiento acelerado.

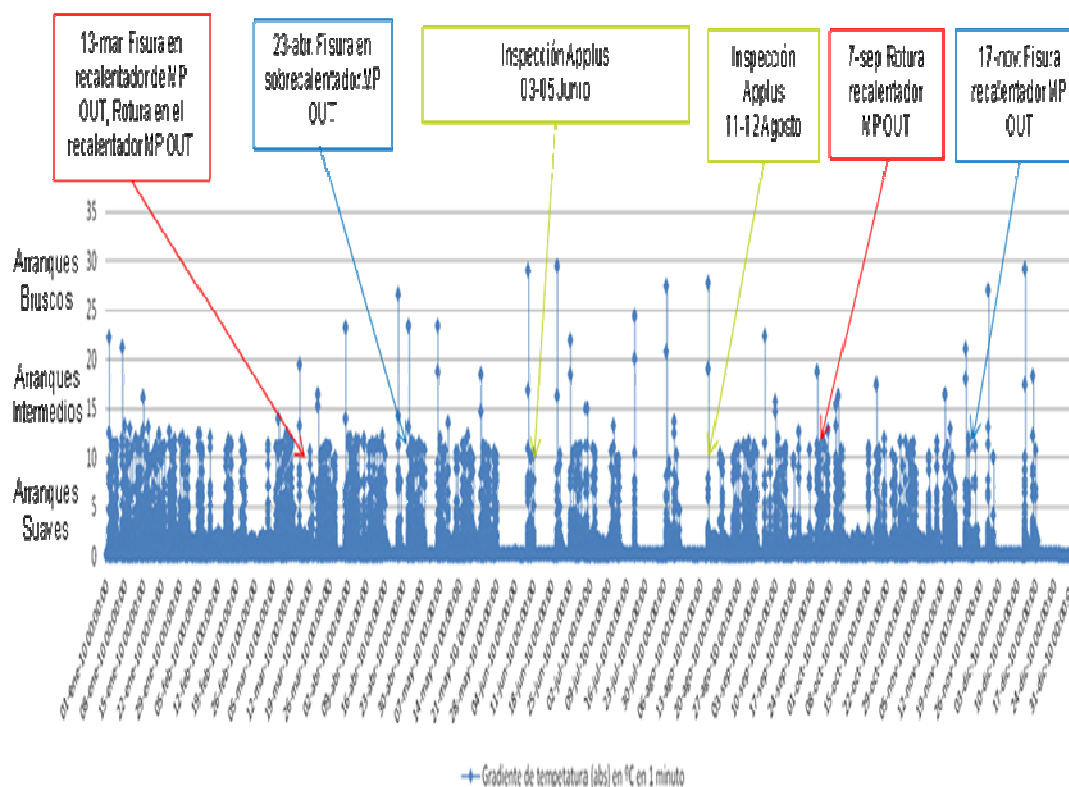


Figura 15. Incremento térmico en Calderas durante arranques.

En 2010, se observa que, aunque no hay una relación directa, en muchas ocasiones los pinchazos en la caldera vienen precedidos por gradientes altos de temperatura (arranques bruscos)

Análisis del proceso de parada.

Se observa durante el proceso de parada actual se presentan dos picos de temperatura en el recalentador y en el sobrecalentador que producen estrés térmico en el circuito de media presión, sobretodo el primero, ya que genera una punta por encima de la T^a de funcionamiento habitual:

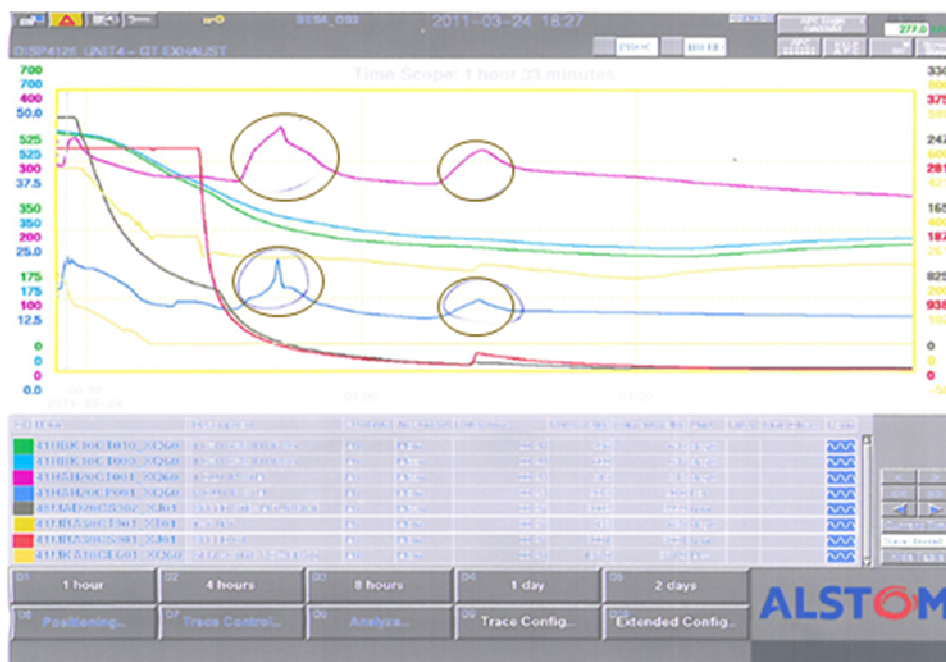


Figura 16. Estrés térmico durante parada.

En 5 min se produce un incremento de 273 a 350°C (Incr. 14,4°C/min). Se produce otra punta de 270°C a 318°C en 5 min. (Incr. 9,6°C/min) .

Se identifica algunos problemas de ajustes en el Bypass que provocan los incrementos térmicos bruscos durante el proceso de parada.

Análisis de fallos en caldera.

Dentro de la caldera, los distintos componentes presentan diferentes probabilidades de fallo por gradiente de temperatura

Distribución roturas y fisuras por componentes 2010.

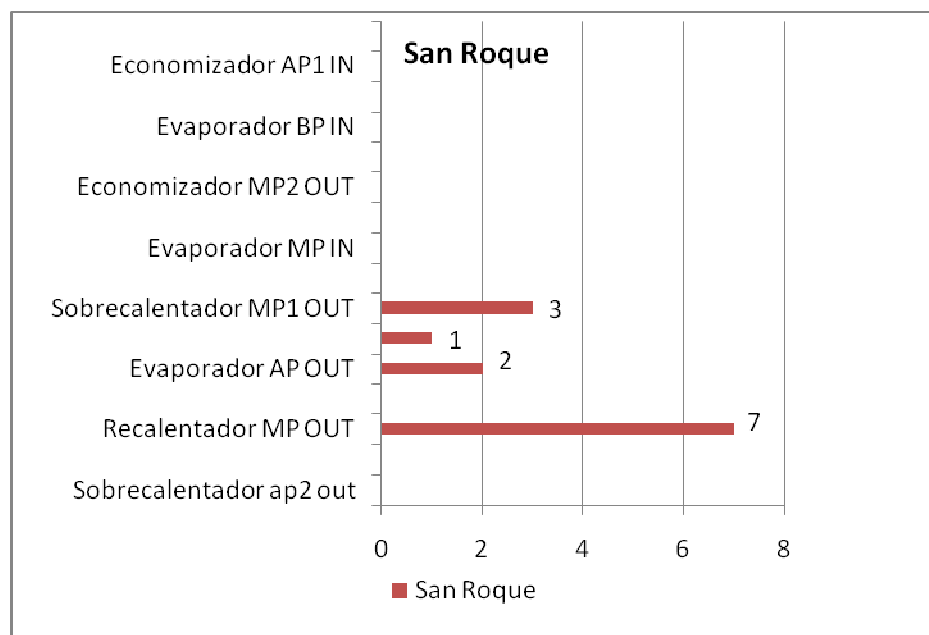


Figura 17. Averías en Caldera.

El recalentador (OUT) y el sobrecalentador (MP/OUT) son los componentes que concentra la mayoría de los fallos en tubos, un 76%, debidos en gran medida a cambios de temperatura excesivamente rápidos.

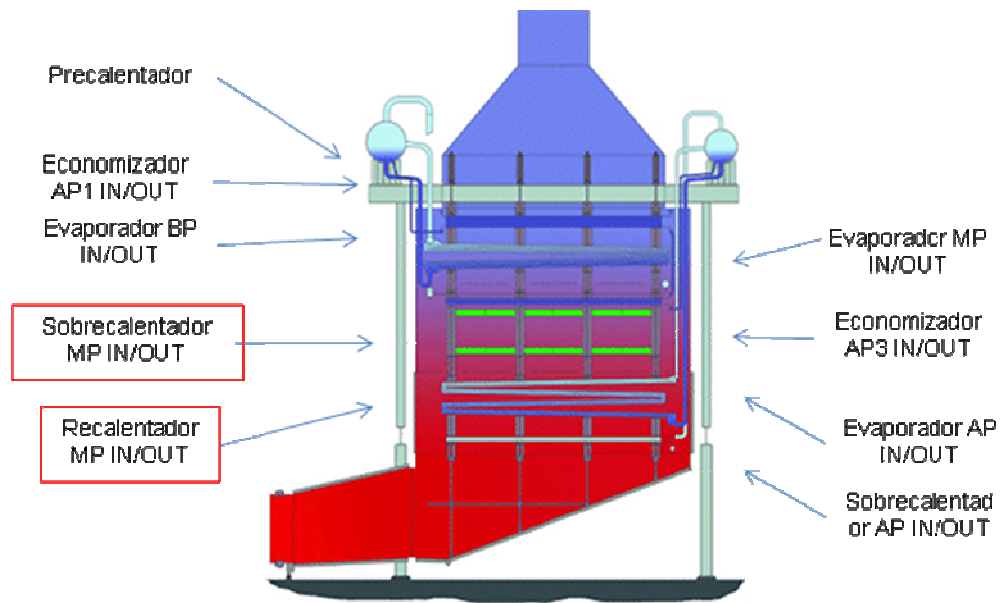


Figura 18. Distribución Térmica.

Materiales del HRSG

Algunos de los problemas producidos a lo largo de 2010 podrían justificarse por la composición de materiales y sus espesores de tubería en la caldera:

DESIGNACIÓN	DIAM. INT.	MATERIAL	DIAM.	ESP.	Nº EMBRAN Q.
NIVEL 1					
ECONOMIZADOR MP1 IN	32,80	SA192	38	2,6	32
ECONOMIZADOR AP1 IN	30,60	SA210A1	38	3,7	144
EVAPORADOR BP OUT	32,80	SA213T11	38	2,6	264
ECONOMIZADOR MP2 IN	32,80	SA192	38	2,6	52
ECONOMIZADOR AP1 OUT	30,60	SA210A1	38	3,7	300

EVAPORADOR BP IN	32,80	SA213T11	38	2,6	264
NIVEL 2					
EVAPORADOR MP OUT	32,80	SA192	38	2,6	264
ECONOMIZADOR MP2 OUT	32,80	SA192	38	2,6	20
ECONOMIZADOR AP3 IN	30,60	SA210A1	38	3,7	246
EVAPORADOR MP IN	32,80	SA192	38	2,6	264
NIVEL 3					
SOBRECALENTADOR MP1 IN	32,80	SA192	38	2,6	88
EVAPORADOR AP OUT	32,20	SA210A1	38	2,9	594
ECONOMIZADOR AP3 OUT	30,60	SA210A1	38	3,7	88
SOBRECALENTADOR MP1 OUT	32,80	SA192	38	2,6	88
EVAPORADOR AP IN	32,20	SA210A1	38	2,9	595
NIVEL 4					
SOBRECALENTADOR AP1 IN	32,20	SA213T22	38	2,9	182
RECALENTADOR MP IN	32,20	SA213T22	38	2,9	546
RECALENTADOR MP OUT	32,20	SA213T91	38	2,9	546
SOBRECALENTADOR AP2 OUT	27,80	SA213T91	38	5,1	184

Se observa como en el nivel cuatro, en el recalentador MP OUT, que se encontraron durante todo el 2010 7 pinchazos como el espesor es un 43% en el recalentador respecto al sobrecalentador AP2 OUT.

		SA213T91	SA213T22 Chromium 1.9-2.6	SA192	SA210A1	SA213T11 Chromium 1.0-1.5
Tensile Strength	ksi	85	60	47	60	60
	Mpa	585	414	324	414	414

Yield	ksi	60	30	26	37	30
	Mpa	585	207	179	255	207
Elongation in 2 in	%	20	30	35	30	30
Max Hard Rockwell		101	85	77	79	85

Figura 19. Tabla de especificaciones Calidad de Materiales tubos Caldera.

De la tabla de materiales se pueden realizar las siguientes observaciones.

En el material del Recalentador MP OUT, tipo SA213T91 se sabe de una disminución en un 50% del Tensile Strenght (resistencia a la tracción) tras 100.000 horas pueden ser tomados de las Secciones I o VIII del Código de Recipientes de Presión y Calderas ASME.

Utilización de un material en el recalentador IN (SA213T22) con una reducción del Yield strength (limite elástico) del 50-65% respecto al OUT

Del análisis se obtiene que los materiales utilizados de origen en los componentes identificados como críticos, podrían presentar determinadas características mecánicas menos adecuadas para el modo de funcionamiento en ciclado.

Mejoras

Para hacer frente a las diferentes causas de fallo identificadas en la caldera se establecen tres líneas de acción:

1. Reducción indisponibilidad por pinchazos en la caldera

1.1 Reducción de estrés en la caldera

- Arranque más progresivo en fase Post combustión.
- Modificación en secuencia apertura Bypass HP en arranques fríos.

- Parada sin picos por ajustes en Bypass.

1.2 Verificación estructural de la caldera conforme a diseño.

- Verificación desplazamiento de colectores y estructura caldera conforme a diseño.
- Estudio idoneidad materiales y diámetros haces tubulares.
- Estudio del radio, de acuerdo a la unión de los tubos con los colectores.

1.3 Mejora plan de mantenimiento preventivo caldera Control.

A partir del 1 de abril de 2011 se incrementó en 20 minutos el tiempo de arranque, periodo que se incrementa la temperatura de gases de combustión de 455 a 585 °C.

Además se modificó la secuencia de apertura del Bypass HP en arranques fríos (abre al 50% cuando $P_{\text{vapor}} = 0,5$ bar). Ambos cambios han disminuido el gradiente máximo de temperatura por minuto de 27°C a 18°C.

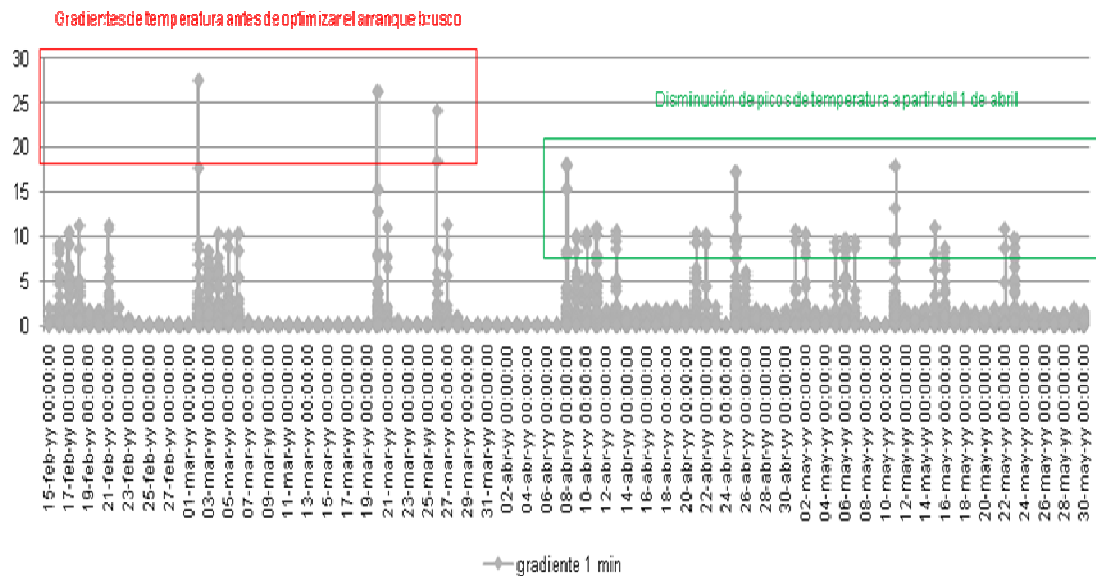


Figura 20. Tabla comparativa de incrementos térmicos.

El promedio de gradiente de temperatura en arranque y parada también se ha reducido, pasando de 14,85°C/min antes del 31 de marzo a 11,33°C a partir del 1 de abril con la entrada en funcionamiento del arranque en frío mejorado

Resultados económicos

Los resultados económicos que se esperan conseguir por la introducción de estas medidas en la reducción de los gradientes de temperatura se resumen en la siguiente tabla.

	Importes valorados		
	Un.	Coste	Total
Costes recurrentes netos			16,5K€

Incremento consumos arranques fríos	22	750€	16.5K€
Ahorros/ingresos			1,59M€
costes correctivos de reparación de caldera	6	15.000€	90K€
Pérdida de Ingresos por disponibilidad	6	250.000€	1,5M€

5. Control.

En esta etapa se implementan en el sistema las consideraciones apreciadas en el proyecto de tal forma que los beneficios sean permanentes. Estas son todas las posibles causas relacionadas con problemas específicos de los identificados en la fase de análisis.

Recomendación	Estado
Se enfatizara los analistas la importancia de asegurar el cierre del sistema de toma de muestras en continuo tras su uso	Implementada
Modificación Rampas de arranque.	Implementada
Chequeo por parte de los operadores de la posición de las válvulas de los analizadores.	Implementada
Retrasar la apertura de las válvulas de purga de semanal a quincenal.	Implementada
Rutina semanal de control de temperatura en tubos a	Implementada

tanque de purgas de caldera, venteos y eyector de arranque	
Minimizar la presión de agua sello de las válvulas y bombas del ciclo agua vapor	Implementada
Modificación de la secuencia de arranque de la planta para evitar el estrés térmico de los haces tubulares de caldera	Implementada
Modificación del plan de Mantenimiento preventivo caldera	
Chequeo semanal de trampas de condensado. Procedimiento	

5.1. Resultados finales.

El consumo de agua se ha reducido al 0.62%MCR lo cual es equivalente a 1077430 Euros por año en pérdidas de agua de proceso. Las recomendaciones surgidas de la aplicación de la filosofía seis sigma suben el nivel a 2.28 sigma con nivel de DPMO de 239819 y significa que se reduce el proceso a 0.62%, una mejora del 0.77% de MCR, lo cual es equivalente de 139925 Euros por cada disminución del 0.1%. Algunas recomendaciones mas están todavía pendientes de implementar durante la próxima inspección de planta, lo cual supondrán un ahorro esperado de 145000 euros anuales unas vez implementadas.

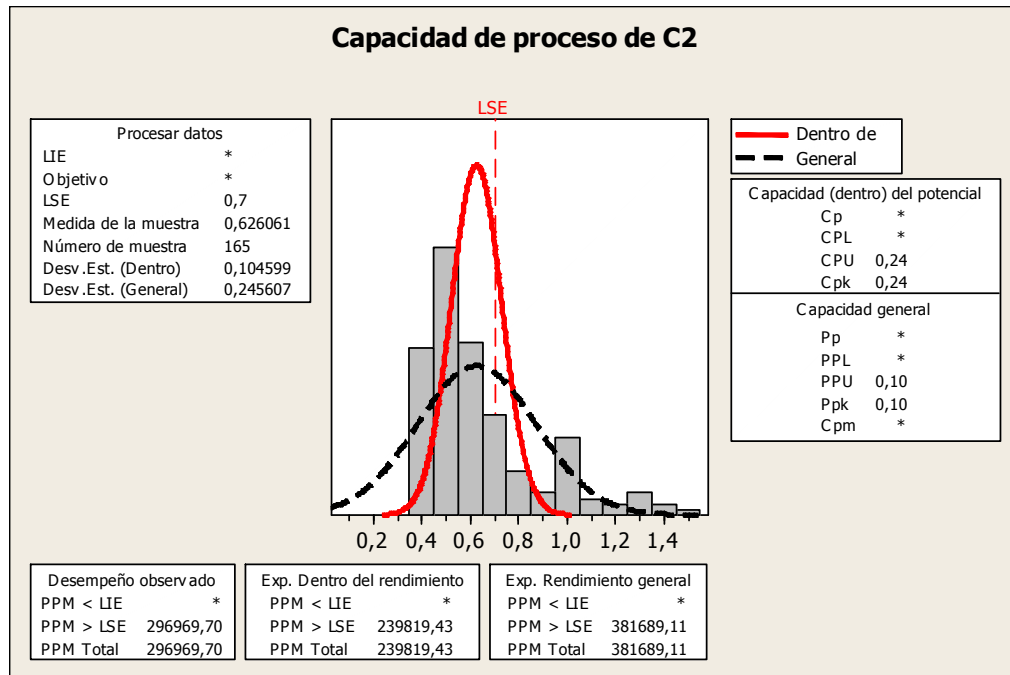


Figura 21. Capacidad final del proceso.

ANEJO N°3

Análisis de la viabilidad económica

INDICE.

1. Análisis Económico a nivel básico.	183
2. Estudio Económico.	185
2.1. Análisis de rentabilidad inicial.	185
2.2. Inversión adicional para las mejoras Propuestas.	193
2.3. Equipos.	194
2.4. Análisis de rentabilidad tras las mejoras.	198
2.5. Mejora económica obtenida.	199

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Comparativa flujos de Caja.

200

1. Análisis Económico a nivel básico.

A este nivel de análisis, los parámetros de evaluación no tienen en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo.

Tiempo de retorno o periodo de amortización

Este criterio, definido como el cociente entre la inversión y el ahorro total, puede utilizarse como primera aproximación para el cálculo de la rentabilidad de la inversión, determinando si ésta se recuperará en un plazo razonable.

No es posible fijar un periodo de amortización por encima del cual la inversión no sea viable, puesto que éste depende en gran medida de la

situación económica de la empresa y de la naturaleza del proyecto. A título orientativo puede decirse que si el periodo de retorno supera la mitad de la vida útil de la mejora la inversión no es rentable.

Tasa de retorno de la inversión (TRI)

$$TRI := \frac{\text{Ahorro_anual} - \text{Depreciación}}{\text{Inversión}} \cdot 100$$

El TRI tiene en cuenta la vida útil estimada de la mejora a través de la depreciación considerada como lineal a este nivel de detalle— lo que permite establecer comparaciones con alternativas de inversión de distinta vida útil. Como referencia puede decirse que valores del TRI inferiores al 10% desaconsejan una inversión.

Análisis económico en profundidad

Los criterios propuestos tienen en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo pero obvian, por simplicidad, las fluctuaciones en los precios de los combustibles, la inflación y los impuestos. El nivel de análisis necesario para contemplar estos aspectos queda fuera del propósito del presente documento.

Se denotará por k al tipo de interés de una inversión sin riesgo. Suele tomarse como referencia el tipo de interés de los Bonos u Obligaciones del Estado al mismo plazo que la vida útil de la mejora.

Valor actualizado neto (VAN)

Se llama valor actual neto de una cantidad S a percibir al cabo de n años con una tasa de interés k , a la cantidad que, si se dispusiera de ella hoy, generaría al cabo de n años la cantidad S .

Este criterio considera los flujos netos generados por la medida implantada durante su vida útil (n) y traslada su valor al momento actual utilizando k como tasa de descuento.

Para cada periodo –normalmente un año– se calculará el flujo neto como la diferencia entre los ahorros energéticos y los costes directos e indirectos asociados a la inversión.

$$VAN := \sum_{i=0}^n \frac{\text{Flujo_neto}}{\left(1 + \frac{k}{100}\right)^i}$$

Una inversión es atractiva si su VAN es positivo, y tanto más cuanto mayor sea éste.

Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR es el valor del parámetro r para el cual el VAN de los flujos generados por el proyecto durante su vida útil iguala el valor de la inversión inicial realizada (I_0).

$$I_0 := \sum_{i=0}^n \frac{\text{Flujo_neto}}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i}$$

Otros aspectos a considerar

Riesgo inherente a cualquier proyecto de inversión.

Situación de los mercados crediticios.

Aseguramiento de la inversión.

2. ESTUDIO ECONÓMICO

2.1. Análisis de rentabilidad inicial

El desarrollo de un proyecto de estas características lleva asociado un planteamiento económico para determinar si la rentabilidad que la promoción del mismo conlleva es la esperada por los inversores en función del riesgo.

Los datos de apertura del proyecto de la planta son los siguientes:

CENTRAL TERMICA DE CICLO COMBINADO SAN ROQUE	
Puesta en Marcha	Año 2002
Potencia Instalada	400 MW
Inversión Inicial	1800000000€
Amortización Prevista	10 años

El valor del capital a desembolsar es elevado debido a que el terreno en el que se encuentra requería una cimentación especial debido a sus características. Por otra parte, el diseño exclusivo de algunos de los equipos hace que su precio aumente.

El análisis de rentabilidad debe incluir:

- El coste asociado a la operación de la planta en materia de combustible (cuando la planta esté funcionando) Este precio es fijo y su valor es de 0.05679 € por Kwh generado. (56.79€ MWh)
- El coste de la energía eléctrica adquirida de la red (cuando la planta esté detenida y se necesiten reparar los equipos).

- La instalación cuenta con unos costes fijos cuyo origen son conceptos como los seguros, el personal de la planta, el mantenimiento y los gastos generales.

Teniendo en cuenta estos conceptos se obtiene el EBITDA, y a partir de éste descontando las amortizaciones y los costes correspondientes a los gastos financieros obtenemos el BAI. Si este valor es positivo se descuenta el impuesto de sociedades obteniendo el beneficio final de la instalación.

El cálculo del VAN y el TIR es fundamental para ofrecer a los promotores un valor de referencia que haga tomar la decisión de acometer la inversión. Estos valores se obtienen a través de los flujos de caja, es decir, del EBITDA. El objetivo del proyecto es aumentar éste parámetro como consecuencia del incumplimiento de las expectativas iniciales.

El cálculo del desarrollo económico presupuestado de la instalación antes de construirla se presenta a continuación. Los resultados económicos presupuestados por la empresa promotora presentan unos números bastante buenos, no se han mostrado los años intermedios ya que la diferencia radica en el aumento de los precios debido a la revalorización del dinero, tanto de la energía eléctrica comprada como de la vendida a la red.

En la tabla no se han incluido las amortizaciones porque no tienen relevancia en este proyecto Seis Sigma en el que se trabaja en las mejoras a partir del valor del EBITDA. El presupuesto en cuanto a energía eléctrica contiene un funcionamiento cercano a las 8.000 horas anuales, es decir, una disponibilidad del 90%.

Concepto	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Año 2009	Año 2010	Año 2011
Energía eléctrica generada(MWh)	2803200	2803200	2803200	2803200	2803200	2803200
Energía eléctrica vendida(MWh)	3104346	3104346	3104346	3104346	3104346	3104346
Energía eléctrica auxiliares(MWh)	49524	49524	49524	49524	49524	49524
Energía eléctrica comprada(MWh)	10824	10824	10824	10824	10824	10824
Ingreso por venta energía. Elect. A red	180.806.400 €	182.614.464 €	184.440.609 €	193.662.639 €	195.599.265 €	197.555.258 €
INGRESOS	180.806.400 €	182.614.464 €	184.440.609 €	193.662.639 €	195.599.265 €	197.555.258 €
Coste combustible	134.553.600 €	135.899.136 €	137.258.127 €	144.121.034 €	145.562.244 €	147.017.867 €
Compra de energía	736.032 €	743.392 €	750.826 €	788.368 €	796.251 €	804.214 €
Coste agua caldera	75.972 €	76.732 €	77.499 €	81.374 €	82.188 €	83.010 €
GASTOS VARIABLES	135.365.604 €	136.719.260 €	138.086.453 €	144.990.775 €	146.440.683 €	147.905.090 €
MARGEN BRUTO	45.440.796 €	45.895.204 €	46.354.156 €	48.671.864 €	49.158.582 €	49.650.168 €
Gastos de Personal	1.260.000 €	1.272.600 €	1.285.326 €	1.349.592 €	1.484.552 €	1.499.397 €
Seguros	50.000 €	50.500 €	51.005 €	53.555 €	54.091 €	54.632 €
Mantenimiento	5.000.000 €	5.050.000 €	5.100.500 €	5.355.525 €	5.409.080 €	5.463.171 €
Gastos Generales	12.000 €	12.120 €	12.241 €	12.853 €	12.982 €	13.112 €
GASTOS FIJOS	6.322.000 €	6.385.220 €	6.449.072 €	6.771.526 €	6.960.704 €	7.030.311 €
TOTAL GASTOS	141.687.604 €	143.104.480 €	144.535.525 €	151.762.301 €	153.401.387 €	154.935.401 €
EBITDA	39.118.796 €	39.509.984 €	39.905.084 €	41.900.338 €	42.197.878 €	42.619.857 €

Los flujos de caja asociados al EBITDA presupuestado son los siguientes:

Período	Flujo de Fondos
0	-180000000
1	39118796
2	39509984
3	39905983
4	40304143
5	40707175
6	41114507
7	41525790
8	41940674
9	42360750
10	42783651

Con estos valores los datos del VAN y del TIR respaldan la construcción de la planta.

TIR	18,24%
VAN	€ 69.543.299

La empresa promotora exige un 10% de rentabilidad, como podemos apreciar el TIR obtenido dobla a este valor y como consecuencia el VAN al 10% es bastante mayor que 0.

El funcionamiento de la planta diverge en gran medida con la planteada en la obtención de estos números. En primer lugar la planta ha funcionado menos horas de las presupuestadas por los promotores, por lo tanto el ingreso por venta de energía eléctrica disminuye y a la vez aumentan costes como la compra de energía eléctrica. Además las previsiones del precio del kWh. vendido a la red fueron cuando menos optimistas, por lo tanto afecta de forma importante al ingreso de por la venta de energía eléctrica.

A continuación se muestra el estado económico real de la instalación antes de desarrollar este proyecto Seis Sigma. Los primeros años se observa la gran producción de la planta, gracias a la poca presencia de competidores, sin embargo se observa en el año 2009, la caída de venta de energía por la masiva entrada al mercado de las energías renovables, así como por la menor entrada al sistema de la central por los problemas técnicos aparecidos en caldera, roturas, y a un precio de entrada menos competitivo debido a la subida del consumo específico, que hace que aumenten los costes de operación, el consumo de gas y las pérdidas de vapor, y por lo tanto aumenten los precios ofertados al pull energético, por lo que disminuyen las asignaciones de carga, siendo de esta manera la planta menos competitiva en el mercado energético.

Concepto	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Año 2009	Año 2010
Energía eléctrica generada(MWh)	2954215	3052172	2645713	1450678	1161856
Energía eléctrica vendida(MWh)	2902061	2999846	2593627	1420154	1135082
Energía eléctrica auxiliares(MWh)	52154	52326	52086	30524	26774
Energía eléctrica comprada(MWh)	11154	11324	11298	4324	5945
Ingreso por venta energía. Elect. A red	187.182.935 €	193.490.067 €	167.288.942 €	91.599.933 €	73.212.789 €
INGRESOS	187.182.935 €	193.490.067 €	167.288.942 €	91.599.933 €	73.212.789 €
Coste combustible	141.802.320 €	146.504.256 €	126.994.224 €	69.632.544 €	55.769.088 €
Compra de energía	758.472 €	770.032 €	768.264 €	294.032 €	404.260 €
Coste agua caldera	75.972 €	76.732 €	77.499 €	81.374 €	82.188 €
GASTOS VARIABLES	142.636.764 €	147.351.020 €	127.839.987 €	70.007.950 €	56.255.536 €
MARGEN BRUTO	44.546.171 €	46.139.047 €	39.448.954 €	21.591.983 €	16.957.253 €
Gastos de Personal	1.260.000 €	1.272.600 €	1.285.326 €	1.349.592 €	1.484.552 €
Seguros	50.000 €	50.500 €	51.005 €	53.555 €	54.091 €
Mantenimiento	5.000.000 €	5.050.000 €	5.100.500 €	5.355.525 €	5.409.080 €
Gastos Generales	12.000 €	12.120 €	12.241 €	12.853 €	12.982 €
GASTOS FIJOS	6.322.000 €	6.385.220 €	6.449.072 €	6.771.526 €	6.960.704 €
TOTAL GASTOS	148.958.764 €	153.736.240 €	134.289.059 €	76.779.476 €	63.216.240 €
EBITDA	38.224.171 €	39.753.827 €	32.999.882 €	14.820.457 €	9.996.549 €

Los datos reales difieren del presupuesto planteado en el estudio inicial y como consecuencia los flujos de caja así como el VAN y el TIR esperado de la explotación de la instalación se verá afectado.

Período	Flujo de Fondos
0	-180.000.000 €
1	39753827€
2	32999882
3	33254687
4	31578461
5	29543221
6	24542311
7	20542134
8	9996549
9	

Como consecuencia del descenso en los flujos de caja, el VAN y el TIR asociado cambian en gran medida con respecto a las estimaciones iniciales

TIR	9.64%
VAN	-2.188.878€

Los resultados previstos en las condiciones reales son opuestos a los presupuestados en el caso del TIR (TIR presupuestado 21,73%) y como consecuencia un VAN negativo muy alejado de 0. Esta situación es la que se pretende mejorar con el desarrollo del proyecto cuidando los costes asociados por la situación económica en la que se encuentra la instalación.

2.2. Inversión adicional para las mejoras propuestas

El desarrollo del proyecto Seis Sigma ha definido una serie de mejoras, que tienen un coste asociado por equipos nuevos o mejoras en los anteriores.

Los costes reflejados a continuación corresponden con presupuestos recibidos de acuerdo con las especificaciones técnicas adecuadas para la mejora del proyecto como se indicará a continuación.

El aumento de la disponibilidad de la instalación relacionada con los resultados de este proyecto refleja a priori una mejora importante de los ingresos a partir del aumento en más de 2.000 horas de la producción (cumpliéndose los objetivos marcados) con un aumento del EBITDA estimado en el primer año con las mejoras disponibles (2011).

Además de los ingresos directos obtenidos de la mejora directa se añade una reducción de costes indirectos como la compra de energía eléctrica de la red. Obviamente los costes asociados a la producción (como la compra de combustible o el mantenimiento) serán mayores ya que la planta está funcionando más horas.

La mejora económica asociada al proyecto es importante y puede acercar la situación real de la instalación a los presupuestos de partida. Debido a las características del nuevo mercado con el alto desarrollo de las energías renovables como competidores se descarta llegar a los valores iniciales, sin embargo un aumento del EBITDA de este orden conseguirá al menos una tasa de retorno positiva y un VAN más cercano a cero.

2.3. Equipos.

Las mejoras a realizar en los equipos de la instalación corresponden con un aumento importante de la disponibilidad, esta circunstancia hace que tengan asociado un coste relevante dentro de la mejora Seis Sigma. A continuación se presenta el coste de cada equipo relacionado con la disponibilidad que el cambio lleva asociada de acuerdo con el resultado del proyecto.

- **Caldera**

El desarrollo del proyecto definió como equipo más importante en cuanto al descenso de la disponibilidad a la caldera, se presentaron los siguientes costes para las soluciones a los problemas asociados.

Adquisición y montaje de un equipo para la Verificación desplazamiento de colectores y estructura caldera conforme a diseño, con un coste de 250000€

Montaje de pozos de extracción de condensados en los colectores de caldera, con un coste de 90000€.

Modificación de las rampas de arranque para disminuir el estrés térmico., con un coste en aumento de consumo de gas en arranques fríos de 16500 euros para 22 arranques fríos anuales

Estas mejoras tienen un impacto directo sobre la disponibilidad de la planta subiendo al 88% y subiendo las horas de operación de 4256 en el año 2010 a 5350 en el 2011, y así aumentando la venta de energía en un 39%, lo cual aumenta el EBITDA en 7496259€. La mejora obtenida está respaldada directamente por las reducciones del precio de operación MW/h que permite ser más competitivos.

- **Optimización del régimen de purgas de Caldera.**

El segundo sistema con más relevancia en los problemas de la instalación, en el desarrollo del proyecto se concluyó que la solución a los problemas del alto volumen de agua perdido en purgas consistía en controlar su funcionamiento ajustando los valores límites, utilizando un control automático de purgas de esta forma se eliminan las incidencias.

El coste asociado a esta mejora es consiste en la adquisición de este sistema automático para cada uno de los calderines, con un coste de 95000€ en total

La mejora ofrece unos ahorros en consumo de gas, agua desmineralizada y productos químicos de 633435€ anuales, lo que representa un aumento neto de EBITDA de 538435€

- **Reducción de pérdidas en trampas de Vapor.**

Del análisis se dedujo una serie trampas y válvulas del sistema de purgas de caldera y turbina que fugaban para las cuales se presupuesto para su reparación y/o substitución un presupuesto de 65000 euros, además de ello, el seis sigma recomendó realizar un seguimiento de las mismas mediante rutina, con equipo de localización de fugas por ultrasonidos con un coste de 18000 euros, con unos costes totales para esta recomendación de 83000euros.

La mejora ofrece unos ahorros en perdida de vapor de 344492€ anuales, lo que representa un aumento del EBITDA de 261492€.

- **Reducción del consumo de agua del sistema de muestreo del ciclo agua/vapor.**

Este punto se caracteriza, por no suponer coste alguno, se realiza inculcando una cultura de creación de hábitos, para que el personal de operación y/o laboratorio se conciencien de la regulación de los caudales en los caudalímetros, con lo que dejándolo en la medida justa se producen unos ahorros de 99503€ anuales, lo que supone el mismo incremento en el EBITDA.

Costes por mejoras en 6σ en equipos	
Caldera	356000€
Purgas de Caldera	95000€
Perdidas en trampas de vapor	83000€
Muestreo laboratorio	0€
Total asociado a equipos	534000€

Los datos presentados son estimativos ya que el precio considerado por la energía eléctrica vendida y comprada puede variar así como otras variables que afectan al EBITDA de la planta. Además de estos gastos variables hay que tener en cuenta que los equipos tienen asociado un mantenimiento normalizado que se debe llevar a cabo con más frecuencia en función de las horas de producción de la instalación.

El coste de los equipos instalados será incluido como un gasto de mantenimiento para que afecte al EBITDA y de esta forma el objetivo planteado sea cumplido de forma real representando un aumento real del flujo de caja.

Aumento EBITDA por mejoras en 6σ en equipos	
Caldera	7496259€
Purgas de Caldera	538435€
Perdidas en trampas de vapor	261492€
Muestreo laboratorio	99503€
Total asociado a equipos	9390692€

2.4. Análisis de rentabilidad tras las mejoras

El desarrollo del proyecto Seis Sigma tiene como objetivo aumentar los flujos de caja de esta sociedad, que como ya se analizó presentan serias divergencias con el presupuesto inicial. El objetivo planteado parece haberse alcanzado, los flujos de caja han aumentado en un orden de 9,4 m€ en el primer año, gracias a las mejoras incorporadas que han provocado alcanzar el 88% de disponibilidad.

Los costes referentes a los equipos mejorados han sido incluidos como mantenimiento en el año 2011 en el que fueron implantados de forma paulatina, de esta forma el aumento de EBITDA en este período es neto incluyendo el desembolso a realizar por las mejoras reforzando de esta forma la sostenibilidad de los avances del proyecto.

Concepto	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Año 2009	Año 2010	Año 2011
Energía eléctrica generada(MWh)	2954215	3052172	2645713	1450678	1161856	1653158
Energía eléctrica vendida(MWh)	2902061	2999846	2593627	1420154	1135082	1620850
Energía eléctrica auxiliares(MWh)	52154	52326	52086	30524	26774	32308
Energía eléctrica comprada(MWh)	11154	11324	11298	4324	5945	3634
Ingreso por venta energía. Elect. A red	187.182.935 €	193.490.067 €	167.288.942 €	91.599.933 €	73.212.789 €	104.544.825 €
INGRESOS	187.182.935 €	193.490.067 €	167.288.942 €	91.599.933 €	73.212.789 €	104.544.825 €
Coste combustible	141.802.320 €	146.504.256 €	126.994.224 €	69.632.544 €	55.769.088 €	79.351.584 €
Compra de energía	758.472 €	770.032 €	768.264 €	294.032 €	404.260 €	247.112 €
Coste agua caldera	75.972 €	76.732 €	77.499 €	81.374 €	82.188 €	83.010 €
GASTOS VARIABLES	142.636.764 €	147.351.020 €	127.839.987 €	70.007.950 €	56.255.536 €	78.703.779 €
MARGEN BRUTO	44.546.171 €	46.139.047 €	39.448.954 €	21.591.983 €	16.957.253 €	25.841.046 €
Gastos de Personal	1.260.000 €	1.272.600 €	1.285.326 €	1.349.592 €	1.484.552 €	1.499.397 €
Seguros	50.000 €	50.500 €	51.005 €	53.555 €	54.091 €	54.632 €
Mantenimiento	5.000.000 €	5.050.000 €	5.100.500 €	5.355.525 €	5.409.080 €	5.981.171 €
Gastos Generales	12.000 €	12.120 €	12.241 €	12.853 €	12.982 €	13.112 €
GASTOS FIJOS	6.322.000 €	6.385.220 €	6.449.072 €	6.771.526 €	6.960.704 €	7.548.311 €
TOTAL GASTOS	148.958.764 €	153.736.240 €	134.289.059 €	76.779.476 €	63.216.240 €	86.252.090 €
EBITDA	38.224.171 €	39.753.827 €	32.999.882 €	14.820.457 €	9.996.549 €	18.292.735 €

En la tabla presentada se puede apreciar la mejora observando el EBITDA. Las mejoras incluidas se han ido incorporando a lo largo del año 2011. Por lo tanto durante este período no se han podido hacer patentes los beneficios totales aunque sí una parte de los mismos.

El nuevo EBITDA calculado es mayor que el anterior, esta situación hace que los flujos de caja hayan aumentado y por lo tanto los valores del TIR y el VAN.

2.5. Mejora económica obtenida.

El aumento del EBITDA representado en la tabla anterior tiene su influencia en los parámetros VAN y TIR. Los valores obtenidos con los flujos de caja determinados en la tabla anterior son los siguientes:

TIR	10,76%
VAN	4.984.748,80 €

Como vemos después de las mejoras aumentan los dos parámetros, el VAN es algo mayor que 0. El TIR se ha incrementado, pasando de un 9,66% hasta un 10,76%.

El problema de la rentabilidad de esta instalación procede de las previsiones iniciales en cuanto a la producción y venta de la energía eléctrica a la red, por la entrada de las energías renovables.

Las mejoras de la instalación consiguen aumentar el valor de estos parámetros, sin embargo no permiten alcanzar las previsiones realizadas antes de la promoción de la planta.

	Previsión Proyecto	Situación sin 6σ	Situación con 6σ
TIR	18,24%	9,66%	10,76%
VAN	69.543.299 €	-2.188.878 €	4,984,748 €

En la gráfica siguiente se presentan los flujos de caja de cada una de las situaciones de la planta, se puede apreciar la mejora Seis Sigma conseguida (con un 88% de disponibilidad), la diferencia entre esta representación y la presupuestada es bastante importante y muestra el excesivo optimismo inicial referente a la producción eléctrica de la instalación.

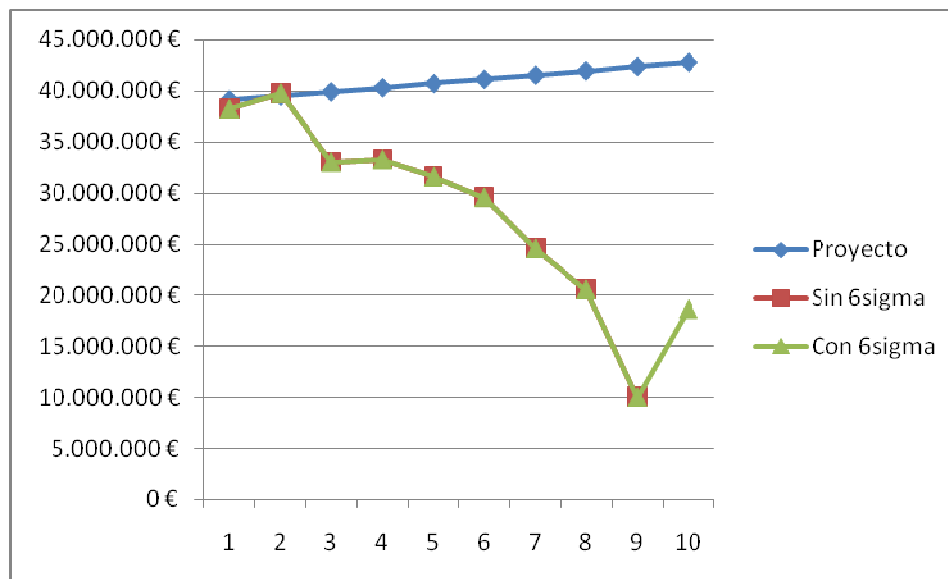


Figura 1. Comparativa flujos de Caja.

Los flujos de caja obtenidos en las situaciones analizadas presentan la mejora económica del proyecto Seis Sigma respecto a la situación de partida y la distancia existente con respecto al presupuesto inicial.

Fdo. Carlos Jesús Vila González
Alumno Autor del proyecto



PLANOS

ESTUDIO DE REDUCCION DEL CONSUMO DE AGUA DESMINERALIZADA EN UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO APLICANDO LA ESTRATEGIA SEIS SIGMA



INDICE.

1. P&ID CICLO AGUA VAPOR.	203/4
---------------------------	-------



SE HA DEJADO INTENCIONADAMENTE EN BLANCO



SE HA DEJADO INTENCIONADAMENTE EN BLANCO



PLIEGO DE CONDICIONES

REDUCCION DEL CONSUMO DE AGUA DESMINERALIZADA EN UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO APLICANDO LA ESTRATEGIA SEIS SIGMA

INDICE

1. CONDICIONES TÉCNICAS Y ECONOMICAS.	208
1.1 ANTECEDENTES.	208
1.2 OBJETO.	208
1.3 ALCANCE DEL SERVICIO A CONTRATAR.	208
1.4 METODOLOGIA Y CONTENIDO DE LA PROPUESTA.	209
1.5 DOCUMENTACIÓN A PRESENTAR.	210
1.6 PERSONAL.	210
1.7 DURACIÓN DEL CONTRATO	211
1.8 PROPUESTA ECONÓMICA	211
1.9 CERTIFICACIONES.	212
1.10 CONDICIONES DE LA ENTREGA.	212
1.11 SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE.	213
2. CONDICIONES ADMINISTRATIVAS Y LEGALES.	213
2.1. JURISDICCIÓN APLICABLE.	213
2.2. GARANTÍAS	214
2.3. DERECHOS DE PROPIEDAD	214
2.4. CONFIDENCIALIDAD	214
2.5. IDIOMA	215
2.6. NORMAS COMPLEMENTARIAS	215
2.7. CUMPLIMIENTO DEL CONTRATO	215
2.8. CESIÓN DEL CONTRATO Y SUBROGACIÓN	216
2.9. RESOLUCIÓN DEL CONTRATO	216
2.10. OBLIGACIONES LABORALES DEL CONTRATISTA	217

**2.11. RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR LOS DAÑOS
CAUSADOS A TERCEROS DURANTE LA EJECUCION DEL
CONTRATO.**

217

1. CONDICIONES TÉCNICAS Y ECONOMICAS.

1.1. ANTECEDENTES

En la actualidad la Central Térmica San Roque, utiliza la tecnología de ciclo combinado, Esta tecnología consiste en utilizar la combustión del gas natural (turbina de gas) y el vapor que producen los gases de escape (caldera de recuperación y turbina de vapor) para generar electricidad. Estos dos procesos funcionan de manera complementaria, lo que permite alcanzar rendimientos energéticos muy elevados, ya que se obtiene electricidad en dos etapas utilizando una única fuente de energía.

La instalación objeto de estudio presenta un funcionamiento muy distinto al presupuestado durante su proyecto, de esta forma tanto a nivel técnico como económico las previsiones no se están cumpliendo de una forma importante. A nivel técnico los equipos principales diseñados para un funcionamiento continuo son arrancados de forma frecuente debido a la gran cantidad de paradas que sufre la instalación. Por otra parte la repercusión económica asociada está ligada a la menor producción de energía eléctrica y consecuentemente a la reducción de ingresos por el concepto de ingreso por energía vendida a la red.

1.2. OBJETO

El objeto del presente Pliego es determinar las condiciones técnicas que regirán el contrato de Servicio para la Asistencia Técnica para el estudio de la disminución del consumo de agua desmineralizada en ciclo de agua/vapor de la CCC San Roque aplicando la estrategia seis sigma.

1.3. ALCANCE DEL SERVICIO A CONTRATAR

Los trabajos de Asistencia Técnica objeto de contratación abarcarán:

- **Propuesta** de mejora para disminuir el consumo de agua.
- **Implantación de la metodología seis sigma como filosofía de gestión.** Incluyendo el suministro de todos los equipos e instalaciones necesarios para lograr los Objetivos propuestos propuestos de reducción.
- **Recopilación de información.** La empresa adjudicataria será la encargada de recopilar todos aquellos trabajos, estudios y documentos que, a su juicio, puedan resultar de utilidad para la realización de este trabajo. Dicha empresa será la encargada de realizar la búsqueda, la solicitud y, en su caso, correrá con aquellos gastos que se pudieran derivar de la adquisición de los mismos.
- **Realización de trabajos y estudios complementarios.** La empresa adjudicataria deberá realizar cuantos estudios y trabajos de campo sean necesarios para cubrir todos aquellos vacíos informativos existentes que se consideren relevantes para completar el estudio de diagnóstico, de acuerdo con los contenidos mínimos relacionados
- **Organización de reuniones informativas y de coordinación.** Durante el periodo de ejecución del trabajo, la empresa adjudicataria deberá realizar un mínimo de tres reuniones con los responsables de este proyecto para informar sobre la marcha del mismo, facilitar su supervisión y coordinar todas aquellas tareas en las que pudieran estar implicadas ambas partes. La empresa adjudicataria será la encargada de convocar, organizar, moderar y levantar acta de todas aquellas reuniones que se celebren. El calendario de reuniones será consensuado por ambas partes, una vez que haya sido adjudicado este contrato.
- **Elaboración y redacción del estudio.** La empresa adjudicataria deberá elaborar y redactar el documento del estudio.

1.4. METODOLOGIA Y CONTENIDO DE LA PROPUESTA.

El nuevo sistema de tratamiento para optimizar la capacidad de la planta de San Roque, se diseñará considerando las instalaciones existentes, descritas, y los siguientes condicionantes:

- El nuevo diseño propuesto deberá considerar los espacios y personal ocupados.
- El sistema propuesto para la ampliación de capacidad deberá ser compatible con la maquinaria existente actualmente en la instalación, así como con las infraestructuras generales de que consta la planta, debiendo considerarse la modificación o incorporación de aquellas que sean necesarias dentro de la propuesta para la correcta instalación de la tecnología propuesta.

1.5. DOCUMENTACIÓN A PRESENTAR

1.5.1 Memoria técnica del nuevo sistema de tratamiento planteado en la que se incluirán:

- Descripción de la metodología y tecnología propuestas.
- Planificación de implantación del nuevo proceso y temporalización de las distintas fases, fijando el plazo en el que la propuesta técnica realizada alcanzaría los rendimientos ofertados.
- Definición de equipamientos incluidos en la propuesta presentada, valorando inversiones totales que abarcarán los equipos y la obra civil o modificación de servicios e instalaciones que sean necesarios. Consumos previstos para estos equipamientos en explotación y plan de mantenimiento de instalaciones y equipos suministrados.
- Valoración del sistema propuesto respecto condiciones de seguridad y medioambiente.

1.6. PERSONAL

Al servicio objeto de contratación la empresa adjudicataria se asignará como mínimo, un asesor técnico con la dedicación necesaria dependiendo de la fase del proyecto, que tendrá como interlocutores a los técnicos operadores y cuyas labores serán:

- Definición previa de los protocolos de actuación in situ.
- Supervisión y seguimiento de suministros de los nuevos equipos e instalaciones, puesta en marcha y posterior explotación del sistema propuesto.
- Control de la calidad de los materiales.
- Elaboración de informes periódicos.

1.7. DURACIÓN DEL CONTRATO

El contrato objeto del presente tendrá una duración de un año, prorrogables por otro periodo sucesivo e igual a un año.

1.8. PROPUESTA ECONÓMICA

Al tratarse de un servicio de asistencia técnica, que incluye tanto una asistencia profesional, como una implantación de equipos, la oferta económica se presentará descompuesta en dos conceptos:

- Producción: en donde se incluirán todos los costes de asesoramiento técnico: personal de apoyo para mejora de la explotación, puesta en marcha de la instalación, revisiones periódicas de rendimientos, etc.....
- Amortización de los equipos e instalaciones a suministrar: que incluirá la amortización en 2 años de todos los suministros e instalaciones necesarias para el desarrollo del sistema propuesto. El precio de amortización se obtendrá al repercutir la inversión total en la previsión de venta de energía durante los 2 años de vigencia máxima del

contrato. Los precios se formularán respecto los dos anteriores apartados, en €/Mw generado en planta.

1.9. CERTIFICACIONES.

El pago se realizará en tres certificaciones:

- La primera certificación, equivalente al 35 % del importe de la adjudicación, tendrá lugar a la entrega del primer informe del avance de los trabajos (mes segundo).
- La segunda certificación, equivalente al 40% del importe de la adjudicación, tendrá lugar a la entrega del segundo informe del estado del estudio (mes cuarto).
- La tercera certificación, correspondiente al 25 % restante, se efectuará tras la aprobación del trabajo definitivo por parte de la Concejalía de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Cartagena.

Los tres pagos se realizarán mediante transferencia bancaria.

1.10. CONDICIONES DE LA ENTREGA.

El trabajo deberá presentarse en un plazo máximo de seis meses, a contar desde el día siguiente a la fecha de la firma del contrato de adjudicación.

La empresa adjudicataria deberá presentar, como mínimo tres ejemplares completos del estudio de diagnosis de la caldera, deberán presentarse en tamaños de la serie DIN de modo que las hojas queden dobladas a tamaño DIN-A4.

1.11. SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE

El sistema propuesto para optimización de la explotación de las instalaciones deberá considerar los riesgos, tanto relativos a la seguridad como al medio ambiente, derivados de la incorporación de nuevos equipos y sistemas de trabajo, presentándose una valoración de los mismos, así como las medidas correctoras previstas para su minimización.

Dicha valoración deberá entregarse como un apartado de la documentación técnica de la oferta y al menos deberá considerar los siguientes apartados:

- evaluación de riesgos para los operarios
- control de aguas, producción y características de agua de proceso y gestión de las mismas.

2. CONDICIONES ADMINISTRATIVAS Y LEGALES

2.1. JURISDICCIÓN APLICABLE

Las partes se someten a la jurisdicción y competencia de los Tribunales y Juzgados de Madrid capital para la resolución de cualquier controversia que pudiera surgir en la interpretación, cumplimiento y ejecución del presente Contrato.

2.2. GARANTÍAS

El contratista garantiza expresamente la calidad técnica y prestaciones de los trabajos contratados así como la correcta realización de los servicios, estudios, diseños o cálculos realizados, respondiendo de las consecuencias que produzcan para el contratante, las omisiones, errores, métodos inadecuados o conclusiones incorrectas en la realización de los trabajos contratados.

El contratista estará obligado a rehacer sin cargo, cualesquiera estudios, cálculos o trabajos realizados y que resulten ser incorrectos o no adecuados al fin pretendido en el presente contrato.

Asimismo, se establece un periodo de garantía de UN AÑO para las posibles aplicaciones informáticas que desarrollara el adjudicatario en virtud del presente contrato, comprometiéndose durante este período a la subsanación de los fallos e incidencias que se detectaran en las mismas, sin ningún gasto para el contratante.

2.3. DERECHOS DE PROPIEDAD

La propiedad de la documentación, que se obtenga y elabore, como resultado de los trabajos realizados, corresponderá a él contratante, no pudiendo por tanto el Contratista ceder, transmitir o divulgar dicha documentación sin permiso expreso de IDAE. La totalidad de la información y documentación generada será entregada a IDAE en edición original.

La información que el contratante pueda facilitar al Contratista para la realización de los trabajos o a la que éste pueda acceder durante la realización de los mismos tendrá el carácter de confidencial, comprometiéndose el Contratista a no hacer uso de la misma para un fin distinto de la realización de los trabajos objeto del presente Contrato.

Los derechos de autor de los trabajos objeto de este Contrato, se entenderán cedidos a favor del contratante, pudiendo, por tanto, difundir o aprovechar para cualquier medio de información, comunicación pública o reproducción, en cualquier lugar del mundo y sin límite temporal, los resultados o suministros de este Contrato.

2.4. CONFIDENCIALIDAD

Tanto la información aportada para el adecuado desarrollo del contrato, como la generada por el propio adjudicatario dentro de los trabajos incluidos en el mismo tendrán el carácter de CONFIDENCIAL, no pudiendo ser facilitada a

terceros sin el consentimiento expreso y por escrito. En tal sentido, el Adjudicatario y los trabajadores designados suscribirán, al inicio de los trabajos, una declaración de confidencialidad (conforme al modelo que se adjuntan en el anexo III). En caso de incumplimiento de esta cláusula de confidencialidad se podría proceder a la resolución automática del contrato, todo ello sin perjuicio de otras medidas que considerara adecuadas al carácter y consecuencias del incumplimiento.

2.5. IDIOMA

El idioma de trabajo será el español, por lo que toda la documentación que se genere durante el desarrollo de los trabajos objeto de este contrato, deberá estar en este idioma.

2.6. NORMAS COMPLEMENTARIAS

La dirección e inspección por parte del adjudicatario de los trabajos a realizar por el contratista, corresponderá al Departamento de Control Técnico de la central, dependiente además del jefe del departamento se designará un responsable de proyecto, los cuales, podrán dirigir instrucciones al adjudicatario siempre que no supongan modificaciones de la prestación no autorizadas, ni se opongan a las disposiciones en vigor o a las cláusulas del presente Pliego y demás documentos contractuales.

2.7. CUMPLIMIENTO DEL CONTRATO

El contrato se entenderá cumplido por el contratista cuando éste haya realizado la totalidad de su objeto, de conformidad con lo establecido en los documentos contractuales y se hubiera formalizado el correspondiente acta de recepción.

2.8. CESIÓN DEL CONTRATO Y SUBROGACIÓN

El adjudicatario no podrá ceder o transferir a terceros, ni subrogar a persona alguna, en todo o en parte, los derechos y obligaciones dimanantes del presente Contrato, sin autorización previa por escrito.

En el caso de que el adjudicatario subcontratara parte de los trabajos objeto de este contrato, dichas subcontrataciones deberán ser conocidas y aprobadas por el contratante, siendo en todos los casos el adjudicatario, quien asume la total responsabilidad de la ejecución de los trabajos, tanto los desarrollados por él como por sus subcontratados.

2.9. RESOLUCIÓN DEL CONTRATO

El adjudicatario podrá resolver el contrato unilateralmente mediante comunicación escrita, en caso de incumplimiento grave por el contratista de los plazos de ejecución o entrega, o de cualquier otra condición contractual. La resolución implicará la ejecución de los avales que se hubieran prestado y la devolución de las cantidades recibidas a cuenta por el contratista, que serán devueltas con su interés igual al legal del dinero incrementado en 1,5 puntos.

La resolución del contrato dará derecho al contratista a percibir sólo el precio de los trabajos o servicios que efectivamente hubiese realizado con arreglo al contrato, y que hubiesen sido recibidos por el IDAE, descontando las penalizaciones que le fueran aplicables, todo ello sin perjuicio de las reclamaciones que el adjudicatario pudiera realizar por posibles daños y perjuicios.

2.10. OBLIGACIONES LABORALES DEL CONTRATISTA

El contratista está obligado al cumplimiento de las disposiciones legales vigentes en materia laboral, de Seguridad Social y de seguridad e higiene en el trabajo, quedando la Administración exonerada de responsabilidad por este incumplimiento.

2.11. RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR LOS DAÑOS CAUSADOS A TERCEROS DURANTE LA EJECUCION DEL CONTRATO.

El contratista será responsable de los daños y perjuicios que se causen como consecuencia de las operaciones que requiera la ejecución del contrato.



PRESUPUESTO

**Estudio de Reducción del Consumo de Agua
Desmineralizada de una Central Térmica de Ciclo
Combinado Aplicando la Estrategia Six Sigma.**

INDICE.....PRESUPUESTO.

1. Precios Unitarios. Cuadro de Precios.	220
2. Presupuestos Parciales.	221
3. Presupuesto General.	223

1. Precios Unitarios. Cuadro de Precios.

Designacion	Precio/mes
Black belt	4000
Gren belt	2500
Champion	5000
Responsable de materiales	1500
Tecnico operación	2000
Jefe de Turno	2500
Hardware/software	15000
Equipo Verificación Caldera	250000
Equipo optimización trampas	95000

2. Presupuestos Parciales.

P-1	FORMACION			
	DESIGNACION	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
P-1-1	Formacion six sigma personal equipo	30000	1	30000

P-2	PROGRAMACIÓN			
	DESIGNACION	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
P-2-1	Hardware/software	15000	1	15000

P-3	SUBCONTRATACIÓN			
	DESIGNACION	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
P-3-1	Subcontratación análisis estrés térmico caldera	90000	1	90000

P-4	OPTIMIZACION SISTEMA MUESTREO			
	DESIGNACION	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
	Black belt	4000	0,15	600
	Green belt	2500	0,3	750
	Champion	5000	0,05	250
	Responsable de materiales	1500	0,15	225
	Tecnico operación	2000	0,2	400
	Jefe de Turno	2500	0,2	500
P-4-1	Asistencia mensual		Total	2725

P-5	OPTIMIZACION PERDIDAS TRAMPAS			
	DESIGNACION	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
	Black belt	4000	0,15	600
	Green belt	2500	0,3	750
	Champion	5000	0,05	250
	Responsable de materiales	1500	0,15	225
	Tecnico operación	2000	0,2	400
	Jefe de Turno	2500	0,2	500
P-5-1	Asistencia mensual		Total	2725
P-5-2	Reparacion	65000	1	65000
P-5-3	Repuestos	18000	1	18000
	TOTAL			85275

P-6	OPTIMIZACION REGIMEN DE PURGAS			
	DESIGNACION	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
	Black belt	4000	0,15	600
	Green belt	2500	0,3	750
	Champion	5000	0,05	250
	Responsable de materiales	1500	0,15	225
	Tecnico operación	2000	0,2	400
	Jefe de Turno	2500	0,2	500
P-6-1	Asistencia mensual		Total	2725
P-6-2	Equipo	95000	1	95000
P-6-3	Repuestos	15000	1	15000
	TOTAL			112725

P-7	OPTIMIZACION CICLADO			
	DESIGNACION	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
	Black belt	4000	0,35	1400
	Gren belt	2500	0,65	1625
	Champion	5000	0,25	1250
	Responsable de materiales	1500	0,15	225
	Tecnico operación	2000	0,2	400
	Jefe de Turno	2500	0,2	500
P-7-1	Asistencia mensual		Total	5400
P-7-2	Equipos	250000	1	250000
			Total	255400

3. Presupuesto General.

PRECIO Nº	DESIGNACIÓN	PRECIO	CANTIDAD	IMPORTE
P-1	FORMACION			
P-1-1	Formacion six sigma personal equipo	30000	1	30000
P-2	PROGRAMACIÓN			
P-2-1	Hardware/software	15000	1	15000
P-3	SUBCONTRATACIÓN			
P-3-1	Subcontratación análisis estrés térmico caldera	90000	1	90000
P-4	OPTIMIZACION SISTEMA MUESTREO			
P-4-1	Asistencia mensual	2725	6	16350
P-5	OPTIMIZACION PERDIDAS TRAMPAS			
P-5-1	Asistencia mensual	2725	6	16350
P-5-2	Reparación	65000	1	65000
P-5-3	Repuestos	18000	1	18000
P-6	OPTIMIZACION REGIMEN DE PURGAS			
P-6-1	Asistencia mensual	2725	6	16350
P-6-2	Equipo	95000	1	95000
P-6-3	Repuestos	15000	1	15000
P-7	OPTIMIZACION CICLADO			
P-7-1	Asistencia mensual	5400	6	32400
P-7-2	Equipos	250000	1	250000
			TOTAL	659450